



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

Plan de eficiencia energética en sistema de distribución trifásico en base a
auditoría eléctrica para reducir facturación eléctrica en Planta Industrial JJK
S.A.C Trujillo

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Farías Lachira, Juan Alberto (ORCID: 0000-0003-0631-5567)

Marrerros Huaman, Luis Eddy (ORCID: 0000-0001-9398-2522)

ASESOR:

Mg. Paredes Rosario, Raúl Rosali (ORCID: 0000-0002-3032-3527)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución de Energía.

Trujillo – Perú

2020

Dedicatoria

A Dios, por darme la oportunidad de salir adelante y guiarme en todo momento de mi vida

Mi madre Juana Huamán Ulloa, una mujer sincera y muy trabajadora, luchadora ante la vida haciendo de mí que siga hacia adelante.

A mi padre Luis Marreros Castañeda, que fue para mí muy bondadoso y muy trabajador y que donde este, está guiándome.

Luis Eddy Marreros Huamán

A Dios por bendecirme siempre y sobre todo por haber puesto en mi vida a seres maravillosos y muy especiales. Gracias por enseñarme que las dificultades se superan con perseverancia.

A mis padres, Meme y Juanita, por su amor, paciencia, confianza, motivación y apoyo incondicional día a día. Mi Meme, que desde el cielo me cuida e ilumina.

Juan Alberto Farías Lachira

Agradecimiento

A Dios, por darnos la oportunidad de vivir y estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestro corazón e iluminar nuestras mentes y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido nuestros soportes.

A nuestro Ilustre Asesor Ing. Raúl Paredes Rosario, por brindarnos sus conocimientos y saber guiarnos y trasladarnos sus sugerencias para terminar nuestra Tesis con satisfacción.

A la Universidad César Vallejo, en especial a la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, que nos permitió obtener nuestra sólida formación profesional, preparándonos para enfrentar con sabiduría y competitividad el mundo laboral.

A nuestras Familias, por estar en todo momento con nosotros en las buenas y en las malas, apoyándonos siempre a seguir adelante.

¡Gracias!

Luis Eddy y Juan Alberto

Página Del Jurado

Declaratoria De Autenticidad

Nosotros, Farías Lachira, Juan Alberto; con DNI: 03823970, y Marreros Huamán, Luis Eddy, con DNI: 41242763; a efectos de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto en los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Trujillo, Julio 2019



Juan Alberto Farías Lachira
03823970



Luis Eddy Marreros Huamán
41242763

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Página Del Jurado	iv
Declaratoria De Autenticidad.....	v
Índice	vi
Índice De Tablas	viii
Índice De Figuras.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
1.1. Realidad Problemática	1
1.2. Trabajos previos	8
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	15
1.4. Formulación del problema	44
1.5. Justificación del estudio	45
1.6. Hipótesis.....	45
1.7. Objetivos.	45
II. MÉTODO.....	47
2.1. Diseño de investigación.....	47
2.2. Variables, Operacionalización	48
2.3. Población y muestra	49
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	50
2.5. Procedimiento	50
2.6. Métodos de análisis de datos.....	51

III.	RESULTADOS	53
3.1.	Auditoría según normas al sistema eléctrico trifásico de planta JJK SAC Trujillo.	53
3.2.	Diagrama de Sankey de distribución, transporte y uso de la energía eléctrica en Planta JJK SAC.....	68
3.3.	Diseño del Plan de eficiencia energética para JJK SAC.....	68
3.4.	Analizar el sistema eléctrico con mejoras	76
3.5.	Diagrama Unifilar considerando el cambio de sección del cable y nuevo motor Premium de 50 kw.	77
3.6.	Análisis económico	77
IV.	DISCUSIÓN	80
V.	CONCLUSIONES	82
VI.	RECOMENDACIONES	85
VII.	REFERENCIAS	87
	ANEXOS	89
	Anexo 1: Características de motores eléctricos	89
	Anexo 3: Transformador en baño de aceite.....	90
	Anexo 4: Variación de eficiencia del transformador en función de carga	91
	Anexo 5: Potencias de capacitores para compensar el factor de potencia	92
	Anexo 6: Configuraciones estándar e índices horarios de transformadores trifásicos	93
	Instrumento de evaluación N° 1.....	94
	Instrumento de evaluación N° 2. Empresa JJK SAC.....	95
	Instrumento de evaluación N° 3. Empresa JJK SAC.....	95
	Validacion de Instrumento N° 1	97
	Validacion de Instrumento N° 2	97
	Matriz de consistencia	99
	Anexo 07: Acta de aprobación de originalidad de Tesis	100
	Anexo 08: Reporte Turnitin.....	101
	Anexo 09: Autorización de Publicación de Tesis en Repositorio Institucional UCV.....	102
	Anexo 10: Autorización de la versión final del trabajo de Investigación	104

Índice De Tablas

Tabla 1. Parámetros eléctricos promedio planta JJK	6
Tabla 2. Formato de registro de datos para medidas de velocidad de rotación	33
Tabla 3. Formato de registro de medidas en marcha en vacío	35
Tabla 4. Formato de registro de parámetros activos y pasivos del motor	36
Tabla 5. Formato para registro de datos en prueba de corto circuito del motor	37
Tabla 6. Formato de registro de parámetros pasivos en prueba de corto circuito	37
Tabla 7. Operacionalización de variables	48
Tabla 8. Recolección de datos	49
Tabla 9. Energías, potencias activas y reactivas y facturación mensual de EE en JJK SAC año 2018	55
Tabla 10. Potencias y eficiencias de conductores trifásicos en JJK SAC	64
Tabla 11. Tabla de eficiencia de motores eléctricos trifásicos.	66
Tabla 12. Tabla de potencia y rendimiento de motores eléctricos	81

Índice De Figuras

Figura 1: Diagrama unifilar actual de sistema eléctrico de Planta industrial JJK SAC Trujillo.	4
Figura 2: Variación de la intensidad de línea de transformador Sub estación JJK SAC	7
Figura 3: Parámetros para determinar eficiencia de motor trifásico	26
Figura 4: Parámetros para determinar eficiencia de transformador trifásico	28
Figura 5: Parámetros para calcular eficiencia de conductor trifásico	29
Figura 6: Esquema equivalente para una fase de una máquina asíncrona	32
Figura 7: Montaje experimental para prueba de marcha en vacío de la máquina de inducción	34
Figura 8: Montaje experimental para prueba en corto circuito de la máquina de inducción	36
Figura 9: Montaje experimental para levantar las características de funcionamiento del motor de inducción	39
Figura 10: Esquema de análisis conductores con carga concentrada	40
Figura 11: Esquema de conductor con carga distribuida, método sección Constante	41
Figura 12: Esquema de conductor trifásico con carga distribuida, sección cónica	42
Figura 13: Diagrama de flujo de diseño de investigación.	46
Figura 14: Gráfico de variables.	47
Figura 15: Diagrama de transformación, distribución y consumo de energía eléctrica en JJK SAC	53
Figura 16: Triángulo de energía eléctrica promedio de SEP JJK SAC.	57
Figura 17: Diagrama Sankey SEP JJK SAC	68
Figura 18: Organigrama de equipo de eficiencia energética	70
Figura 19: Diagrama Sankey de SEP JJK SAC con Plan de Mejoras	76
Figura 20: Diagrama Unifilar Nuevo	77

RESUMEN

Se presenta el estudio de investigación para diseñar un plan de eficiencia energética en una planta industrial, para reducir el costo de facturación eléctrica mensual.

En el capítulo 3 se desarrolla los cálculos de ingeniería. La Potencia activa en horas punta es kw/mes: 135.25 y Potencia activa en horas fuera de punta, kw/mes es: 125.71. La facturación mensual, en soles/mes: 14,210.44. el cos ϕ es bajo, de 0.8192. El transformador trifásico opera a una carga: 78.34 %, siendo la potencia promedio absorbida por el transformador igual 132.62 kw, con una eficiencia de 96.78 %.

El SEP distribuye su potencia y energía en siete líneas principales, que tienen una pérdida por efecto Joule de 6,427 w, tienen un rendimiento de solamente 92 %. En los motores, que son del tipo estándar, su eficiencia varía entre 0.8 y 0.905, lejos de los valores de los motores de eficiencia Premium, que oscila entre 94 a 96%. Se propone el cambio de los motores de mayor potencia y menor eficiencia, dos, que han sido rebobinados, serán reemplazados por motores Premium. El rendimiento del SEP actual, es de 83.23 %; que es considerado bajo.

A continuación, se diseñó el plan de eficiencia eléctrica, para aumentar la eficiencia en 2 %, reducción de pago por facturación eléctrica en 15% del actual, aumentar el factor de potencia hasta 0.99. Con la aplicación del Plan de mejoras el rendimiento eléctrico proyectado será 87.14 %, por cambio de motor de 50 kw, instalación de banco de condensadores trifásicos y cambio de dos líneas de conductores trifásicos, THW. Se concluye que sí se cumpliría el objetivo técnico de aumentar eficiencia eléctrica de SEP JJK SAC, en mínimo 2%, se lograría aumentar en

3.91 %. En el capítulo 5 se hizo el análisis económico por la implementación del Plan de Mejoras. Inversiones: 64,840 soles, Beneficios a ser obtenidos: 72,820.83 soles/año, Tiempo estimado de retorno de la inversión: 10.7 meses. Se concluye que es viable el proyecto de mejora del SEP JJK SAC, pues habría reducción del pago de energía eléctrica anual del 42.70 %.

En el capítulo 4 se presenta la discusión de resultados, interpretándolos, en el capítulo 5, se presenta las conclusiones, demostrando que se han desarrollado cada uno de los objetivos, en el capítulo 6 se presentan las recomendaciones.

Palabras clave: Energía reactiva, potencia generación en redes, potencia de distribución en redes, motor estándar, motor Premium

ABSTRACT

The research study is presented to design an energy efficiency plan in an industrial plant, with the objective of reducing the monthly electric billing cost. In the first place, an audit was carried out of the power electric system of JJK SAC, according to Peruvian electrical standards.

When doing the field work and processing the data taken from the measurements, it was found that the SEP does not have instruments to measure the electrical parameters, nor does it have a compensation system for the power factor, it does not have power quality analyzers, does not have an energy backup system, for unexpected power cuts.

The plant does not have a professional in electricity that can manage the electrical processes. The electrical audit showed that the active power during peak hours, kw / month: 135.25, active power in off-peak hours, kw / month: 125.71.

The amount of monthly invoicing, without VAT; suns / month: 14,210.44. the power factor is quite low, of 0.8192.

The three-phase transformer operates at an average load: 78.34%, with the average power absorbed by transformer equal to 132.62 kw, its efficiency of 96.78%.

In the SEP it is distributed in seven main lines, which together have a Joule loss of 6,427 w, and on average they have a yield of only 92%, low in relation to an expected yield of 98.5%

In the motors, which are of the standard type, their efficiency varies between 0.8 and 0.905, far from the values of the motors of Premium efficiency, which oscillates between 94 to 96%. It is proposed to change the motors of greater power and lower efficiency, two, which have been rewound, will be replaced by Premium motors of the current SEP, is 83.23%, low. Next, the electrical efficiency plan was designed, to increase efficiency by 2%, reduction of payment by electric bill in 15% of the current one, increase the power factor to 0.99, in normal mode.

With the application of the Plan, it is estimated that the efficiency of the SEP is 87.14%, mainly by changing the 50 kw motor, installing a three-phase capacitor bank and changing two lines of three-phase conductors, THW.

It is concluded that if the technical objective of increasing electric efficiency of SEP JJK SAC, at least 2%, would be achieved, it would increase by 3.91%

In the final part the economic analysis was done for the implementation of the Improvement Plan. Investments: 64,840 soles, Benefits to be obtained: 72,820.83 soles / year
Estimated time of return on investment: 10.7 months.

It is concluded that the SEJ JJK SAC improvement project is attractive, since there would be a percentage reduction of the annual electric power payment of 42.70%.

Keywords: Reactive energy, power generation in networks, distribution power in networks, standard motor, Premium motor

I. INTRODUCCIÓN

I. Realidad Problemática

La energía eléctrica es un tipo de energía muy versátil y de mayor utilización en la industria. El consumo anual en el Perú para el año 2018 fue de 54 511,05 GW.h, siendo para la economía nacional un costo importante; en el sector industrial puede ocupar el tercer a cuarto puesto en la estructura de costo de producción. (Osinergmin, Procesamiento y análisis de la información comercial – años 2018 y 2019).

Ante tal realidad, las acciones para un uso más racional y eficiente de la energía, repercute positivamente en la economía de los sectores implicados.

El usar la energía eléctrica de manera racional y eficiente busca obtener el mayor rendimiento de la energía generada, transformada, distribuida y consumida; garantizando un funcionamiento confiable de los consumidores.

Un aspecto importante para un uso racional es el de generar y transportar solamente la energía útil, la activa, las cargas también son compensadas por otro tipo de energía fluctuante, la energía reactiva.

El inconveniente con la energía eléctrica comparada con otros tipos de energía es que no es posible almacenarla en cantidades considerables, obligan a que su generación, transporte y distribución se realice al momento de utilizarse y requiere mejor dimensionamiento de las instalaciones para prever la demanda máxima y tener reserva rotante, demandando la subutilización las instalaciones en momentos de menor demanda.

El uso racional de la energía eléctrica reparte los consumos en el tiempo, evita sobrecargas innecesarias y aprovecha adecuadamente las instalaciones en baja demanda y aumenta la seguridad operacional en el tiempo, asegurando los programas de producción industrial.

En las redes de alimentación la distorsión es causada por equipos de electrónica de potencia por tener componentes no lineales, transistores de potencia o convertidores con tiristores, hornos de arco y otros; las cargas convencionales en su mayoría reducen su rendimiento, sobrecargando las redes eléctricas y haciendo peligrar la operación correcta de los equipos electrónicos, informáticos y de comunicaciones, creando un serio problema de compatibilidad.

Optimizar el suministro en este problema demanda conocer la distribución de los consumos en el tiempo, la causa de la baja eficiencia en las instalaciones y el factor de potencia más bajo de las cargas, requiere una buena instrumentación como analizadores de redes con softwares especializados para medir, registrar, administrar y procesar datos.

Las cargas importantes generadas en los motores, transformadores, iluminación con fluorescentes, variadores de velocidad. La demanda de potencia activa y reactiva, generada por estos equipos mayormente de tipo inductivo; para lo cual el trabajo útil requiere mayor consumo de corriente, causando en las instalaciones, pérdidas adicionales.

Los armónicos, formados por la frecuencia 50 ó 60 Hz tiene un componente fundamental, más las corrientes superpuestas, de frecuencias múltiplos de la fundamental, ocasionan problemas como: condensadores sobrecargados, uso inadecuado de la instalación, mayores pérdidas eléctricas en la misma, los elementos de protección disparan, se da un fenómeno denominado flicker; frecuentes averías y una deficiencia en los equipos electrónicos disminuyendo el tiempo de vida útil de los equipos.

La empresa JJK S.A.C produce harina de plumas de aves, en Trujillo, el producto, con importante contenido de proteínas, es exportado principalmente a Ecuador. JJK S.A.C. cuenta con una planta industrial, situada en el distrito la Esperanza Trujillo, con capacidad de procesamiento de hasta 60 TM de producto final por día.

JJK SAC tiene una subestación eléctrica de 200 KVA, 10/0.22 Kv en triángulo, sin neutro. Opera a un 60 % de carga, 120 kw, no tiene bancos de condensadores compensadores para aumentar el factor de potencia, el cual alcanza 0.84, pagando energía reactiva. La empresa, como muchas en Perú, inició sus operaciones de producción, con equipos adquiridos de segunda mano, en algunos casos sobredimensionados y en otros, sub-dimensionados, siendo cuellos de botella productivos.

La Planta no cuenta con diagramas unifilares actualizados de las instalaciones eléctricas, pues ha sido levantada de a pocos, de acuerdo a la adquisición de maquinaria, tampoco cuenta con personal de ingeniería eléctrica, el mantenimiento eléctrico se realiza de modo correctivo, cuando se producen las fallas y se solicita servicio externo.

No se conoce los rendimientos eléctricos de los equipos trifásicos como motores, transformadores de tensión, conductores, tampoco la capacidad real de varios de ellos, las caídas de tensión en las líneas de alimentación y distribución son elevadas, de acuerdo a mediciones iniciales realizadas, las cuales se muestran en la Tabla 1.

Tampoco se conoce el nivel de la calidad de energía eléctrica, la distorsión armónica en tensión, ni la de corriente, aunque se cree que es baja, pues han empezado a disparar los interruptores diferenciales de los motores y tomacorrientes, una señal típica de baja calidad de energía, creando interrupciones de producción y cierta inseguridad.

El personal no cuenta con capacitación en electricidad. La Planta no cuenta con un profesional mecánico electricista, o electricista, no tiene un plan de gestión eléctrica.

JJK paga en promedio más de 14,500 soles/mes por consumo de energía activa y un poco más de 700 soles/mes por consumo de energía reactiva.

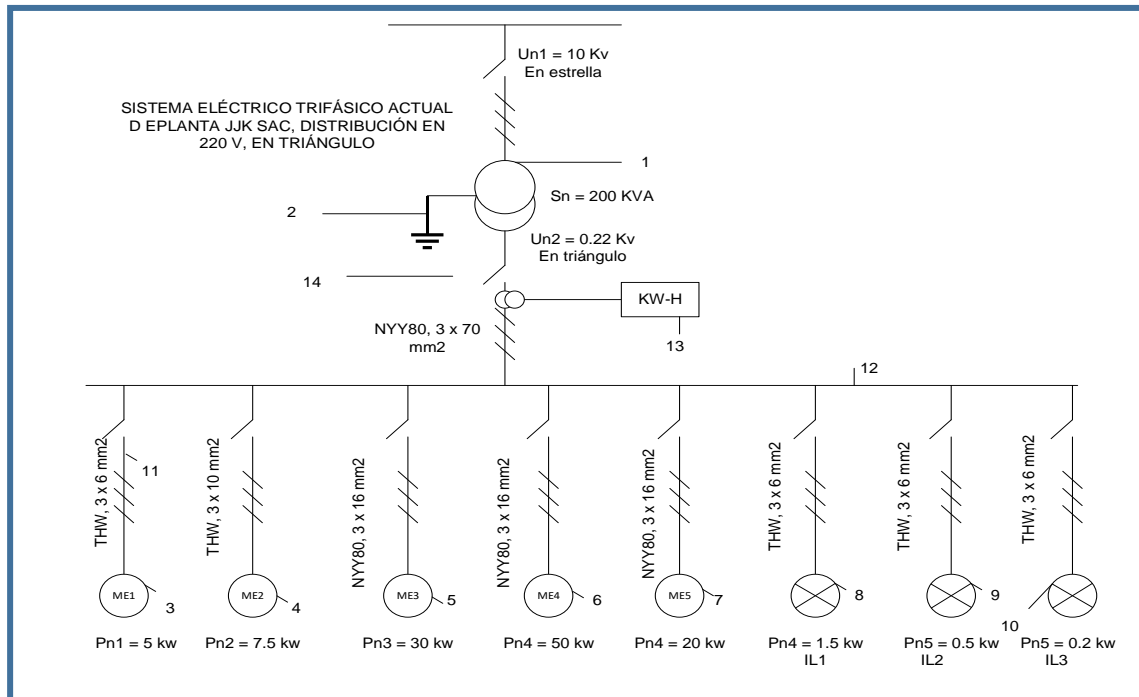
La subestación eléctrica de la Planta JJK S.A.C no cuenta con medidores estacionarios de los parámetros eléctricos que permitan determinar los valores promedio y las eficiencias y capacidades, se hacen mediciones puntuales, con equipos portátiles.

De acuerdo al pliego tarifario, JJK S.A.C es cliente presente en horas punta, pues consume mucha energía en horas punta, por tener motores con arranque directo y de baja eficiencia, además de mucha frecuencia de arranque y parada; lo que se refleja en un mayor monto mensual de pago por uso de red.

Se plantea realizar una auditoría eléctrica definiendo capacidades, rendimientos y costos, elaborar un Plan de Eficiencia energética, según normas para establecer las mejoras a aplicar y obtener más continuidad operacional, eficiencia en la transformación, distribución y conversión de la energía eléctrica, a menor costo que el actual.

Con los datos de la Tabla.1, muestran que el rendimiento de conductores es de 94%, en cual es considerado un valor bajo, debiendo ser mayor a 98.5%; asimismo en factor de potencia ($\cos\phi$) que se tiene es muy bajo (0.84), por lo que se requiere se incremente a través de la instalación de un banco de condensadores y el análisis de motores y transformador, en el desarrollo del estudio.

**Figura 1. Diagrama unifilar actual de sistema eléctrico de Planta industrial JJK SAC
Trujillo.**



Elaboración propia

Leyenda de la Figura 1:

- 1: Transformador trifásico, 10/0.22 Kv, estrella-triángulo
- 2: Conexión a tierra, bobina secundaria del transformador
- 3: Motor eléctrico trifásico, 5 kw, 220 V, accionamiento bomba a caldera
- 4: Motor eléctrico trifásico, 7.5 kw, 220 V, accionamiento ventilador aire fresco a horno
- 5: Motor eléctrico trifásico, 30 kw, 220 V, accionamiento extractor de gases residuales
- 6: Motor eléctrico trifásico, 50 kw, 220 V, accionamiento molino de plumas
- 7: Motor eléctrico trifásico, 20 kw, 220 V, accionamiento faja transportadora de plumas
- 8: IL₁: Sistema iluminación Planta, 1.5 kw, 220 V lámparas de vapor de Na 300 w c/u
- 9: IL₂: Sistema iluminación corredor interno de Planta, 0.5 kw, 220 V con lámparas de vapor de mercurio de 36 w c/u

10: IL₃: Sistema iluminación de oficinas, 0.5 kw, 220 V con lámparas de vapor de mercurio de 36 w c/u

11: Cable trifásico alimentación a motores trifásicos y luminarias

12: Barras de cobre en tablero principal de distribución

13: Medidor de energía activa, en kw-h

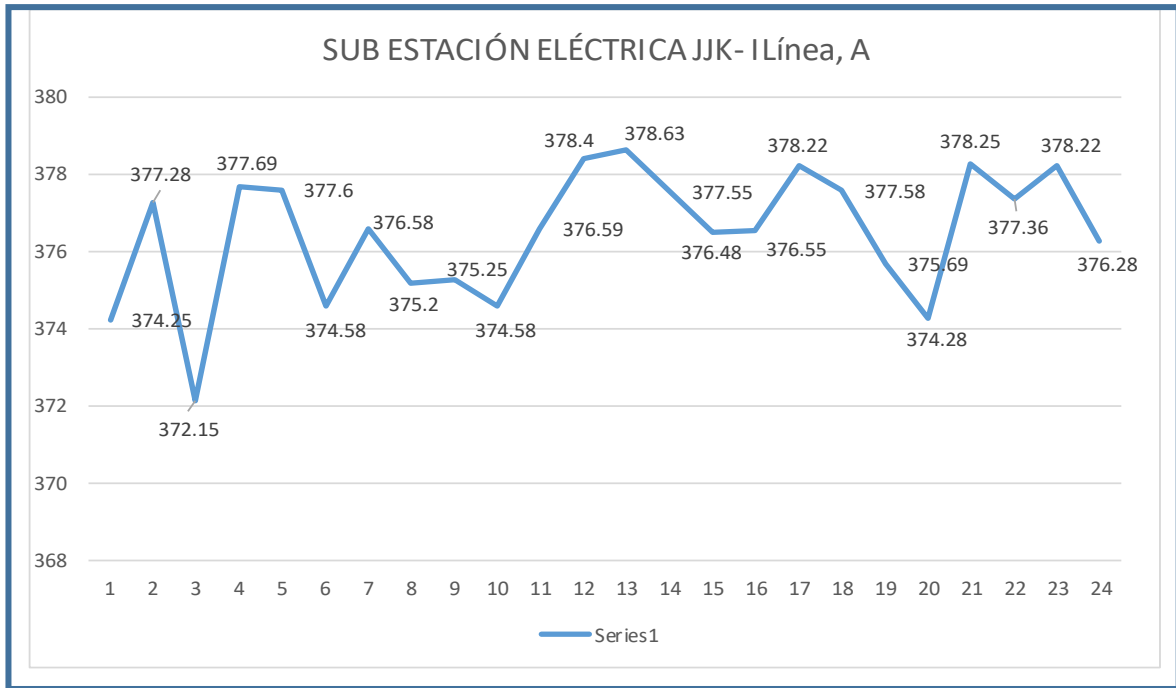
14: Interruptor automático de caja moldeada, tripolar

Tabla 1. *Parámetros eléctricos promedio planta JJK.*

PARÁMETROS DE OPERACIÓN SUB ESTACIÓN ELÉCTRICA JJK SAC FECHA DE MEDICIÓN: 02 DE OCTUBRE 2018													
Item	Tensión en bornes de Transformador			Caída de Tensión en Barras CCM			Tensión en Barras CCM			Intensidad de línea			Factor de potencia
	U12 (V)	U13 (V)	U23 (V)	U12 (V)	U13 (V)	U23 (V)	U12 (V)	U13 (V)	U23 (V)	IL1 A	IL2 A	IL3 A	Cos φ (-)
1	230	230	230	8.8	8.9	8.77	221.2	221.1	221.2	374.25	375.52	377.22	0.82
2	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	377.28	374.25	376.25	0.832
3	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	372.15	377.62	377.53	0.842
4	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	377.69	377.22	374.52	0.836
5	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	377.6	375.62	374.85	0.829
6	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	374.58	376.2	377.65	0.847
7	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	376.58	376.41	375.6	0.85
8	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	375.2	376.4	375.4	0.826
9	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	375.25	375.8	375.63	0.816
10	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	374.58	375.84	377.65	0.847
11	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	376.59	375.63	376.58	0.828
12	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	378.4	377.63	376.54	0.839
13	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	378.63	377.85	376.82	0.831
14	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	377.55	377.96	377.85	0.821
15	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	376.48	378.12	378.82	0.834
16	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	376.55	378.2	378.55	0.852
17	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	378.22	375.29	378.32	0.845
18	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	377.58	375.26	378.25	0.846
19	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	375.69	374.85	377.64	0.84
20	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	374.28	378.45	377.58	0.841
21	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	378.25	377.69	377.62	0.845
22	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	377.36	377.98	376.84	0.842
23	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	378.22	378.4	374.95	0.843
24	230	230	230	10.33	10.45	11.2	219.7	219.6	218.8	376.28	379.5	376.8	0.839
	230.00	230.00	230.00	10.27	10.39	11.10	219.73	219.61	218.90	376.47	376.82	376.89	0.84

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Variación de la intensidad de línea de transformador Sub estación JJK SAC



Fuente: Datos de Planta JJK SAC

1.2 Trabajos previos

Gonzáles (2014, p. 123-124).

En un análisis sistemático realizado en la investigación y aplicando las medidas recomendadas el Autor logró el ahorro de energía eléctrica para el edificio de la sede de OSINERGMIN, obteniendo un ahorro anual de 170,000 kw.h/año; energía fotovoltaica en cubierta que genera un ahorro de 62,000 kw.h/año. Mediante el análisis realizado, se determinó que uno de los mayores consumos de energía eléctrica se registra debido a que en muchas áreas del edificio existen lámparas comandadas por un mismo interruptor.

Determino el desperdicio de gran cantidad de energía debido a que el personal deja encendidas las luminarias de manera irresponsable; esto debido a la falta de hábitos en ahorro de energía eléctrica, generándose pérdidas de 5112 kwh al mes. Como medida correctiva para reducir las pérdidas se realizarán campañas de sensibilización.

A partir del diagnóstico obtenido, se ha generado el mejoramiento del consumo y de la eficiencia energética, dentro de un plan a realizar que no originaria mucha inversión, realizando campañas de sensibilización constante para mejorar los hábitos del consumo de energía en todo el personal.

Vintimilla y Paladines (2012, p. 161-163)

Los autores identificaron que no existe un método definido para mejorar la eficiencia, esto se podría lograr aplicando medidas de sensibilización y concientización e implementar programas de capacitación dirigidos al personal que forma parte de la compañía, también se considera implementar equipos de mayor eficiencia para lograr un proceso productivo minimizando pérdidas, es posible conseguir una instalación más eficiente aplicando dichas alternativas. CARTOPEL S.A.I en una compañía en donde se considera que la eficiencia y el ahorro de energía es parte fundamental de su economía, por lo que para su directorio es tema indispensable que los lleva a buscar mejores alternativas con el avance de la tecnología para reducir su consumo eléctrico, es así que en su proceso productivo se encuentran equipos eficientes, también se buscó la reducción del FP lo cual se logró con éxito y también se planteó intervenir en los sistemas de iluminación; existiendo todavía medidas que se pueden desarrollar para alcanzar importantes ahorros.

La compañía trabaja con responsabilidad ambiental, tiene en sus instalaciones equipos para el tratamiento de agua que usa durante su proceso, no obstante en su proceso de mejoras tiene planeado la implementación de un equipo denominado KROFTA, el cual incrementará el consumo de potencia en 100 kW, este incremento de consumo es justificable porque se trata de reducir al mínimo el retorno de agua al río luego de su uso así como también reducir aún más el nivel de contaminación del líquido vital, esta es una normativa de la empresa ETAPA para el tratamiento de aguas industriales.

La implementación de la tecnología de iluminación tipo LED es muy costosa, los análisis arrojan una inversión aproximada de \$ **73.702,00**, lo cual no es limitación para la empresa por estar comprometida con la eficiencia energética.

Salgado Muñoz (2014, p. 72-73).

Según los cálculos realizados, los Autores determinaron que existiría un potencial de ahorro anual de S/. 10, 688 por control de los picos de demanda máxima (Primera alternativa). Así también, existiría un potencial de ahorro anual de S/. 51,627 si se realiza un control del factor de calificación en MT3 (Control de Factor de Calificación – Segunda Alternativa).

Al invertir en la 1era alternativa de solución (control de demanda máxima) se aseguraría un ahorro de hasta un 3% anual sobre la facturación actual y un retorno de inversión de hasta 28 meses; mientras que al invertir en la 2da alternativa de solución (control del factor de calificación) se aseguraría un ahorro de hasta un 53% anual sobre la facturación actual y un retorno de inversión de hasta 6 meses. Por lo tanto, con la 2da alternativa de solución se lograría el ahorro en consumo eléctrico que la empresa desea.

Es importante hacer un seguimiento del factor de calificación de la empresa, que es el factor que determina si OVOSUR S.A es cliente presente en Horas Punta o cliente Fuera en Horas Punta. Este factor de calificación dependerá de los KWH consumidos directamente, entre 6 a 11 PM, horas punta. Con la ayuda del sistema de control de demanda máxima ECS se podría tener la información para saber el comportamiento de este factor cada mes para establecer la forma de controlarlo.

Arellano (2015, p. 104-105).

Determino que para reducir la demanda se tiene que hacer que los equipos de oficina y motores de gran capacidad no arranquen al mismo tiempo, esto ayudara aplanar la curva de demanda esto se verá reflejado en las planillas mensuales de electricidad. La empresa eléctrica recarga en la planilla si esta demanda es alta. Utilizar arrancadores a tensión reducida en los motores que realizan un número elevado de arranques, con esto se evitara un calentamiento excesivo en los cables de alimentación.

Crear hojas de vida de los diferentes equipos para saber en cuantas horas hay que hacerles un mantenimiento preventivo.

Revisar el nivel de carga de los circuitos ya que desde que entró en funcionamiento el hospital ha sufrido cambios y esto representa aumento o disminución de carga, esto reduce la vida útil de los conductores.

Habilitar banco de condensadores ya que es cierto que el factor de potencia se encuentra en nivel aceptable en el transformador de 400 KVA pero el transformador de 160 KVA que sirve a la sala de Rayos X tiene un muy bajo factor de potencia, lo que causa pérdidas.

Barreto y Toro (2010, p. 54-55).

Los Autores identificaron que el principal portador energético utilizado en la producción de cerámica es el GLP, por lo que determino necesario instalar un sistema

centralizado que permita efectuar la medición y control de su consumo y mejorar la eficiencia en su utilización.

Determinaron un alto componente de la energía eléctrica, no asociada con la producción de cerámica, como resultado de una política errada en la administración de las instalaciones eléctricas de la planta, en las cuales se han incluido varios circuitos correspondientes a otros sectores de la UTPL, lo que distorsiona el comportamiento mensual de los consumos de electricidad e incrementa el índice de intensidad energética.

El factor de potencia se ubica en valores muy bajos, por lo que se requiere en el menor tiempo posible efectuar su corrección.

Que, si bien la planta de cerámica de la UTPL se desenvuelve en una estructura organizacional adecuada que busca la eficiencia en sus procesos productivos, su personal carece de los conocimientos relacionados con el uso eficiente de la energía, por lo que se han podido determinar varios potenciales de ahorro energético que bien aprovechados contribuirán significativamente a disminuir los costos de producción de cerámica y generaran un impacto significativo en la gestión ambiental.

La información procesada, permitió evidenciar la necesidad de implementar planes de eficiencia energética en el sector productivo de la provincia de Loja, como una medida conducente a mejorar su competitividad.

Díaz (2018, p. 110-111).

Mediante el diagnóstico energético realizado, el Autor encuentra la posibilidad de ahorrar S/ 33 456,61 nuevos soles en la compañía mediante la mejora en sus sistemas eléctricos en el mediano plazo.

Las mejoras identificadas, consisten en cambiar las líneas de distribución de energía eléctrica, empleo de motores eficientes, compensación de energía reactiva, sistema de iluminación eficiente, lo que producirán un Ahorro de Energía Anual de 34 309,77 kWh y de S/. 10 819,76, esto contribuirá a mejorar la eficiencia energética eléctrica, permitiendo disminuir el Índice de Consumo Energético Eléctrico (kWh/ Saco) de 2,97 a 2,75 que representa un 7,40% a lo largo de la implementación del proyecto.

El diseño e implementación de la Propuesta Estratégica permitirá mejorar la administración del consumo de energía eléctrica el cual logrará que el ahorro sea sostenido a partir de la ejecución.

De la evaluación financiera, se obtiene que el periodo de recuperación de la inversión es de 4 años 2 meses, obteniéndose un TIR de 17%, un VAN estimado de S/. 2 516 y Beneficio/Costo de 1,25. Por lo tanto, podemos concluir y afirmar que la propuesta es viable económicamente

La parte más difícil en la implementación de un plan de ahorro de energía es la lucha diaria con las costumbres y actitudes de la gente que trabaja en la empresa por lo que se debe iniciar trabajando fuertemente en campañas de sensibilización en hacer comprender la importancia que tiene el ahorro de energía eléctrica, sobre todo en nuestro tiempo en que la mayor cantidad de los recursos no renovables se están agotando.

Hernández, Pinto, González, Pérez-García, Torres, Rengel (2017, p. 75-80).

Frente a los problemas generados por el incremento del consumo de energía eléctrica, el estado inadecuado de los segmentos que conforman la red eléctrica y el impacto ambiental negativo de las tradicionales fuentes de generación de electricidad, los Autores analizan un conjunto de estrategias para un nuevo plan de uso racional y eficiente de la energía eléctrica, aplicable a cualquier país y basado en la coexistencia de nuevas formas de generación de energía (generación alternativa, cogeneración, generación distribuida) con las formas de generación tradicional, así como en la incorporación de técnicas y metodologías de punta, tales como Smart Grid, dr (Dynamic Response), etc. Asimismo, el plan elaborado define una solución holística integral para direccionar el uso racional de energía eléctrica promoviendo un cambio en el comportamiento del beneficiario del servicio.

Metodología: Se tiene las siguientes fases:

Establecer las principales actividades que deben ser promovidas en el marco del citado uso eficiente de la energía. Ciencia, Docencia y Tecnología, 28 (54) | mayo de 2017 | (75-99) 79 Hernández, Jean et al. | Nuevas Estrategias para un Plan de Uso Eficiente de la Energía Eléctrica.

Detectar los problemas que, en líneas generales, impactan negativamente un Sistema Eléctrico Nacional (sen). - Definir las condiciones en las que se debe basar el diagnóstico de la situación actual del sen de un determinado país.

Establecer las medidas más resaltantes que pueden ser consideradas por cada gobierno para propiciar el uso eficiente de la energía eléctrica.

Principales actividades para el uso eficiente de la energía eléctrica:

La incorporación de nuevas tecnologías aplicadas a la generación de energía por lo que, las líneas de acción más importantes identificadas en esta actividad son:

Establecimiento de un marco legal de regulación que estimule la admisión de medidas de ahorro energético y el uso eficiente de la energía eléctrica.

Utilización de incentivos económicos que favorezcan la elección por parte del usuario de tecnologías más eficientes.

La promoción de tecnologías, a nivel de hardware y software, de alta eficiencia, certificadas y homologadas de acuerdo a prácticas de manufactura y desarrollo.

Difusión de mejores prácticas del uso de la energía eléctrica, a través de campañas informativas enfocadas a los distintos grupos sociales.

Utilización de incentivos económicos y no-económicos para fomentar la adopción de hábitos al uso eficiente de la energía eléctrica.

Penalización económica y no-económica cuando el uso ineficiente de la energía es comprobado por segunda vez en adelante.

Regímenes de tarifas no lineales con respecto al consumo.

Salazar, de Oliveira, Vidal (2012, p. 49).

Los autores presentan la aplicación de herramientas de diagnóstico energético desarrolladas por la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME del Ministerio de Minas y Energía de Colombia, con el propósito de identificar los potenciales de ahorro de energía, así como las inversiones en medidas de eficiencia energética necesarias para lograr dichos ahorros.

Con la primera fase del diagnóstico energético se identificó que hay potenciales de ahorro de energía que representan una disminución del 60% del consumo de energía no asociada a la producción. Sin embargo, el diagnóstico por sí solo no permite tomar decisiones de inversión; de este modo se hace necesario conocer las herramientas adecuadas para evaluar las inversiones, comprender sus beneficios y las variables que afectan su retorno y el riesgo inherente a ellas.

La gestión de riesgo para este tipo de inversiones se ha limitado a la definición de periodos de recuperación (payback) cortos; lo que ha llevado a rechazar inversiones

en EE que generan atractivos retornos por la falta del conocimiento y uso de herramientas adecuadas.

Para el análisis de ingeniería las herramientas de gestión de energía propuestas por la UPME permiten una estimación de los ahorros, además del monitoreo continuo del consumo y la producción.

Salazar, Guzmán, Bueno (2017, p.40).

Analizan las medidas de ahorro de energía en una empresa de producción, con la finalidad de implantar recomendaciones que aporten al uso eficiente de la energía. Esta investigación es de tipo descriptivo-documental, sustentada en un trabajo de campo, en donde se analizan los diferentes procesos de producción y servicios industriales. Utilizando datos suministrados de horas de trabajo, se realiza una estimación del consumo mensual para determinar el impacto de los procesos en la facturación de electricidad; el análisis se restringe al cálculo de índices de consumo (Ton/kWh) con lo que se puede priorizar el uso de los equipos más eficientes sobre otros que realicen las mismas funciones.

El análisis de la característica de consumo arroja puntos óptimos mediante los cuales se construye un gráfico de energía vs. producción llamado meta. Para llevar a cabo la caracterización energética de la empresa se desarrollaron las siguientes actividades:

Definir el diagrama energético productivo: diagrama de flujo de los principales procesos productivos.

Realizar el censo de carga: consumos por áreas y equipos representativos.

Calcular el diagrama de Pareto y estratificación: 20 % de los equipos y áreas que consumen aproximadamente el 80 % de la energía eléctrica.

Proponer diagramas de control: variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en el tiempo, para áreas y equipos.

Robles, Torres, Robles (2016, p. 200).

La eficiencia energética cada día está cobrando una mayor importancia en las empresas, por los beneficios no sólo a la economía de la empresa, sino también por la importancia que tiene en el desarrollo sustentable. Se incorporan ahora tres variables: la económica, la social y la cultural. Los empresarios, sin importar el

tamaño de su negocio se empeñan por lograr la transición de una unidad únicamente preocupada por los beneficios económicos a una que sea, además, sustentable. Es necesario que los apoyos existentes para las Mipymes en la modalidad rentabilidad-sustentabilidad, tengan una mayor difusión porque, si bien, estos apoyos existen, es importante que la información llegue a la población objetivo. Actualmente existe una gran cantidad de programas relacionados con la eficiencia energética tanto a nivel mundial, como en México.

La innovación tecnológica en las Mipymes, es difícil de alcanzar considerando los altos costos de personal especializado y de tecnología avanzada, lo que se asienta en un obstáculo serio, ya que, si bien se muestran interesados en la innovación, muchas veces les es imposible acceder a este tipo de proceso organizacional. Esto lo logran al actualizar su tecnología en sus espacios de iluminación al emplear lámparas LED que les aportan ciertos ahorros de energía.

Los controles de consumo de energía eléctrica son de vital importancia en el proceso productivo. Los índices de eficiencia energética son ampliamente utilizados, permiten contar con una base para medir y evaluar el desempeño energético de una empresa, sin importar el tamaño o la rama de actividad a la que pertenezcan, de ahí su importancia y necesidad de incluirse obligadamente en el diseño y operación de cualquier sistema de gestión de energía. Es la forma de conocer avances o retrocesos en la eficiencia energética.

1.1. Teorías relacionadas al tema

1.3.1 Metodología para realizar auditorías eléctricas y estudios de optimización energética (Bonnett, 1997)

La metodología para realizar auditorías energéticas consiste en:

- Determinar y cuantificar el potencial de ahorro de energía eléctrica en instalaciones de equipos eléctricos industriales.
- Comparar las condiciones reales de operación de los equipos principales con los resultados obtenidos aplicando un programa de monitoreo en tiempo real:
 - a) Las acciones correctivas deben darse mediante un programa: identificar y evaluar alternativas viables en modo técnico y económico que generan un beneficio económico.

- b) Plantear alternativas de mejora, comprobadas y verificadas de las variables más relevantes, una vez aprobadas se implementarán según el nivel de inversión.
- c) Se buscará la posibilidad de implementar mejoras operativas para el ahorro de energía, sin inversión, además, cambios operativos en el personal involucrado en la programación y operación del equipamiento industrial.

Fases de la metodología de trabajo para Estudios Energéticos

1.3.2 Primera Fase: Pre- Diagnóstico Energético

Se realiza un análisis preliminar de las instalaciones y equipos del sistema eléctrico, para conocer su distribución, se evalúa la magnitud de los problemas energéticos, lo que permite especificar los alcances del trabajo integralmente; conocer el proceso industrial y el problema energético. (Bonnett, 1997)

Conocer la evolución y la situación actual de la empresa sobre el uso de la energía eléctrica, se debe obtener una colección de datos, lo cual permitirá analizar:

- a. Exploración preliminar de las instalaciones industriales esto nos permitirá seleccionar, especificar actividades, formular hipótesis de trabajo y ejecutar un cronograma de actividades que será propuesto al industrial.
- b. Para esta fase se consideran los siguientes datos:
 - Las instalaciones eléctricas deben tener un diagrama unifilar y esquemas de principio.
 - Contar con un sustento de facturación por energía eléctrica de las empresas suministradoras 1 ó 2 años, por un récord de consumo mes a mes.
 - Diagrama de flujo del proceso y lista de equipos eléctricos más resaltantes, por área de producción.
 - Para estos equipos se necesita: parámetros de trabajo según diseño y horas acumuladas por año.
 - Sistema de operación de planta y horas de trabajo de equipos eléctricos de las áreas productivas.

- Fuentes de suministro de energía.

Se debe conocer los equipos de medición instalados en la subestación principal de la planta y su ubicación dentro el sistema eléctrico: Alta Tensión (AT), Media Tensión (MT) y Baja Tensión (BT).

Estos datos permitirán considerar los puntos para instalar los equipos portátiles, que estarán conectados en paralelo con los equipos de medición ubicados en la tensión respectiva, conociendo las constantes de relación de transformación de transformadores.

1.3.3 Segunda Fase: Diagnóstico Energético Integral

Se deberán realizar las siguientes actividades (Bonnett, 1997):

1.3.3.1 Revisión de datos históricos e información técnica disponible en planta:

Revisión, seleccionar y analizar al detalle la información disponible en planta, con la finalidad de ajustar, poner a punto y corregir el Cronograma de trabajo para determinar la necesidad de horas hombre, que equipos se usara para el desarrollo de los trabajos en la auditoría energética. Se determinan los centros de costos eléctricos (Bonnett, 1997)

1.3.3.2 Actualización del sistema eléctrico industrial.

- Actualización de diagramas unifilares de principio y detalle del sistema eléctrico
- Lista de consumidores principales en cada sector de producción, talleres auxiliares y áreas de administración, incluyendo los parámetros técnicos y de operación.
- Se calcularán las cargas conectadas al sistema industrial de la planta eléctrica

- Plano general del sistema eléctrico industrial, plano de ubicación de receptores y usuarios, en los cuales se deberá incluir los planos del alumbrado.
- Análisis (auditoría) del estado actual de las instalaciones, como circuitos de arranque y parada de motores; protecciones en baja tensión, adecuación del sistema de distribución de electricidad, tipos y cantidad de lámparas y luminarias. (Bonnett, 1997)

1.3.3.3 Programa de mediciones eléctricas.

El procedimiento para tomar datos será de acuerdo a los siguientes pasos: Las mediciones se realizarán en paralelo con los debidos equipos de medida y control de parámetros eléctricos de planta. Para lo cual se considerará lo siguiente:

Niveles de Tensión (Baja Tensión, Media Tensión, Alta Tensión). (Fernández H, 2011)

- Punto a colocarse los equipos de medición para parámetros eléctricos
- Datos de relación de transformación en tensión y corriente (Kv y Ki)
- Tensiones relativas de cortocircuito
- Sentido horario del transformador
- Pérdidas en el Hierro, nominales
- Pérdidas en el cobre, nominales
- Impedancias de corto circuito
- Sistema de instalación trifásica con 3 conductores o puede ser trifásico con neutro.
- Tipo de parámetro a medir (kw, kVAR, kVA ,fdp, V, I,, etc).
- Tiempo de integración para hallar la demanda máxima normalmente para un sistema de facturación cada 15 minutos, durante un mes
- Tiempo de registro de 24 horas, como mínimo

El tiempo de registro es función del modo de operación día a día en Planta y su grado de complejidad. El objetivo es la obtener el Diagrama de carga reactiva y activa, y el consumo de energía total por día de la planta industrial, según el nivel de producción.

1.3.3.4 Mediciones en subestaciones internas de hasta 600 V. (Fernández H, 2011)

- Modelo de instalación.
- Cantidad de transformadores en paralelo.
- Nivel de corriente total de la carga conectada a los transformadores.
- Variable para registrar (kw, kVAR, kVA, etc).
- Equipo totalizador de energía para los transformadores en paralelo (SI/NO).
- Periodo de integración 15 minutos o menos.
- Tiempo de registro: 24 a más horas continuas.

Mediciones en motores eléctricos trifásicos (Fernández H, 2011)

- Analizar la corriente por fase (R, S, T.).
- Que potencia toma el motor de la red eléctrica.
- Cuál es su Factor de potencia en la operación
- Medida de los RPM de trabajo.
- Medidas de fugas a tierra.
- Temperatura de ambiente y Temperatura de la carcasa del motor.
- Bajo qué condiciones de trabaja (humedad, tóxico, corroídos, etc.)

1.3.3.5 Diagramas de carga activa y reactiva. (Fernández H, 2011)

- Un contador de energía debe ser instalado en el lado de alta tensión
- Se debe contar con tableros generales que muestre la distribución de subestaciones
- Contar con tableros de fuerza o centro de control de motores
- Maquinas o conjunto de ellas que, por su capacidad e importancia en el proceso tengan un peso preponderante, tanto en el consumo como en la producción
- Instalaciones auxiliares del proceso tecnológico, áreas administrativas

De los diagramas de carga se determinan (Fernández H, 2011):

- Cargas Activas y Reactivas. (medios, máximos, mínimos).
- Los factores de carga característicos dependen de la tarifa por hora.
- Factor de potencia.

- Consumo de energía por día (total, por línea o zona de producción).

1.3.3.6 Medición y Análisis de la calidad de energía eléctrica. (García J, 1995)

La normativa internacional señala parámetros como límites de perturbación por ondas armónicas:

Orden de un armónico (n):

Relación entre la frecuencia del armónico y la frecuencia fundamental

$$(f_1): \quad n = f_n / f_1 \dots\dots\dots (1)$$

Tasa de distorsión individual:

Relación expresada en tanto por cien entre el valor eficaz de la tensión o corriente armónica (V_n ó I_n) el valor eficaz de la correspondiente componente fundamental.

$$V_n \% = V_n / V_1 \cdot 100 \dots\dots\dots (2)$$

$$I_n \% = I_n / I_1 \cdot 100 \dots\dots\dots (3)$$

Residuo armónico:

La tensión o corriente total y el correspondiente valor fundamental determinan una diferencia denominado residuo armónico.

Tasa Total de Distorsión THD%:

Relación en porcentaje, entre el valor eficaz del residuo armónico en tensión o corriente y el correspondiente componente fundamental (norma IEEE-519).

$$THD \% (V) = \sqrt{\frac{V^2 - V_1^2}{V^2}} * 100 \dots\dots\dots (4)$$

$$THD \% (I) = \sqrt{\frac{I^2 - I_1^2}{I^2}} * 100 \dots\dots\dots (5)$$

Límites:

Según norma IEEE-519 en USA los límites recomendados en tensión, para redes industriales es de 5% TDH.

1.3.4 Tipos de problemas por baja calidad de energía

1.3.4.1 Pérdidas por calentamiento.

El incremento de pérdidas, como forma de calor que es disipado en maquinas eléctricas, ocurrirá en los sistemas eléctricos de las plantas debido a los armónicos. Estas pérdidas son de energía real y pérdidas de potencia (kW). (García J, 1995).

1.3.4.2 Efecto Skin.

Los fenomenos ármonicos causan sobretemperaturas en conductores y accesorios aislantes por el fenómeno llamado efecto skin. El incremento en la resistencia en corriente alterna de un conductor se relaciona como incremento de la frecuencia.

1.3.4.3 Problemas en el Transformador

La forma de onda genera una distorsión que origina incrementos en el calentamiento en todo tipo de transformadores. Este calentamiento es debido a un incremento de la frecuencia del cual dependen las pérdidas por histéresis y las corrientes de edi (parásitas). El incremento de la temperatura es reflejo del calentamiento por efecto skin en bobinados. (García J, 1995)

La conexión estrella-triángulo, suprime casi por completo los armónicos triples incluso con el neutro firmemente puesto a tierra. Los armónicos triples que pueden presentarse en el sistema energético son el tercero y sus múltiplos impares.

1.3.4.4 Reducción de la Capacidad de los equipos.

Es una alternativa de solución de operación con armónicos la reducción de la capacidad de diferentes equipos eléctricos para compensar la temperatura resultante. En transformadores y generadores la reducción que se recomienda es de 20 a 25%. (García J, 1995)

Dependiendo de la magnitud de las corrientes armónicas presentes en la carga los fabricantes de generadores recomiendan reducir sus unidades por lo menos en 50 %. (García J, 1995)

1.3.4.5 Inadecuado funcionamiento de Reguladores de Tensión

Algunos reguladores de tensión de generadores miden picos de voltaje para el control del voltaje de salida del generador. Una forma de onda de voltaje distorsionada resulta en una relación elevada del valor pico al valor eficaz (rms).

1.3.5 Soluciones

1.3.5.1 Configuración de la Instalación

Para solucionar problemas de perturbaciones es fundamental conocer la configuración y potencia en los puntos de cortocircuito a corregir en las instalaciones. (García J, 1995)

La compañía eléctrica de suministro nos puede facilitar la potencia de cortocircuito en el punto de acometida (Pcc) como también ser calculado en un análisis de falla del sistema de potencia.

Este dato es fundamental para obtener la impedancia de cortocircuito por fase (impedancia de Thevenin) usando la siguiente fórmula:

$$Z_{cc} = V^2 / P_{cc} \quad (6)$$

Para cuantificar los niveles de perturbación se considera que dicha impedancia es inductiva, la impedancia para la componente armónica de orden n será:

$$Z_{ccn} = Z_{cc} \cdot n \quad (7)$$

La presencia de cargas capacitivas puede producir resonancias locales y alterar el valor de impedancia en el punto PCC.

En cambio, las impedancias de los condensadores, disminuirán con la frecuencia según la relación:

$$Z_{cn} = Z_c / n \quad (8)$$

La impedancia es nula cuando los cambios en tensión son bruscos y es infinita cuando la potencia de cortocircuito instantánea.

1.3.5.2 Filtros.

Los problemas de perturbaciones se corrigen con filtros. Se han diseñado y fabricado filtros de potencia que permiten eliminar los siguientes tipos de problemas. (García J, 1995)

- Corrección de resonancias.
- Rechazo de armónicos en la instalación.
- Absorción de armónicos para reducir la Tasa de distorsión de armónicos, THD de instalación eléctrica.
- Limita la potencia de cortocircuito generados en puntos de instalación.
- Filtrado de convertidores estáticos, en el lado de la corriente alterna o de continua.

1.3.6 Aplicando Filtros de Sintonía.

La llave para eliminar problemas de armónicos es el uso de filtros en las respectivas cargas no lineales. Desde que un filtro es diseñado para reducir la amplitud de una o más corrientes de frecuencia combinada, el filtro de armónico es un procedimiento de reducción de la distorsión de la forma de onda. Desde que las frecuencias armónicas son muy cercanas a la frecuencia fundamental de suministro (60Hz), un filtro muy selectivo es necesario. El filtro de sintonía especialmente sintoniza fuera del armónico dominante que ha sido generado. (García J, 1995)

1.3.6.1 Balance eléctrico de la industria.

Esto posibilita separar los gastos de energía eléctrica del modo siguiente (García J, 1995):

- El proceso tecnológico genera gastos directos de energía eléctrica (compresores, bombas, etcétera).

- La producción genera gastos auxiliares (alumbrado, talleres de mantenimiento y reparación, ventilación y calefacción, equipos de refrigeración, bodegas, etcétera).
- Otros consumidores anexos que generan gastos (oficinas, corredores, etcétera).

1.3.6.2 Administración de la máxima demanda.

El comportamiento de la carga conectada en el sistema se puede conocer haciendo un análisis del diagrama de cargas, su método de trabajo estará en función del proceso tecnológico, la similitud de las diferentes cargas en el tiempo y las características del flujo de producción. Dentro de las medidas de regulación y beneficio del diagrama de carga podemos enumerar las siguientes:

- Implementar técnicas de reorganización del proceso de producción, que garantice productividad, disminuyendo la demanda ya sea en horas punta como en horas fuera de punta. (García J, 1995)
- Optimización del sistema de distribución de potencia que mejorara así la distribución de energía y operación del sistema.
- Mejorar el sistema de iluminación (niveles de iluminación, lámparas y luminarias, aprovechar la luz solar).
- Cambio de motores con bajo índice de carga, por otro de menor capacidad y mejor eficiencia, considerando lo siguiente:
- Hacer uso de un sistema de automatización de Máxima Demanda mediante equipos electrónicos que nos permitan un control automático.
- Hacer uso de las cargas no consideradas en el proceso productivo, para un posible desplazamiento a horas de menor demanda.
- Uso de nuevas tecnologías, como los reguladores electrónicos de velocidad.

1.3.6.3 Evaluación de modos operativos

Paralelamente a las mediciones eléctricas de los principales equipos consumidores de energía, se hace un análisis operativo en función de la potencia consumida por los motores, con las variables a controlar en el

proceso productivo, como son: tiempo, temperatura, presión caudal, velocidad, masa, etc. (García J, 1995)

1.3.6.4 Evaluación y cuantificación de las mejoras

Cuantificación de las mejoras operativas, las mismas que dan lugar a una reducción de la demanda (kw), y del consumo de energía eléctrica (kwh). Esta cuantificación se hará teniendo en cuenta los costos actuales de energía y su proyección en el tiempo. (García J, 1995)

Definidos los costos medios de energía, se procede a la cuantificación de los ahorros económicos los cuales se estudian teniendo en cuenta lo siguiente:

- Diagramas de carga diario para toda la planta o en las principales líneas o áreas de producción.
- Potencia (kw), que se considerará para los cálculos de ahorros.
- Identificación de las máquinas consideradas para los fines de ahorro de potencia y energía.
- Horas de operación de cada máquina, etc.

1.3.7 Cálculo de pérdidas en equipos.

Pérdidas en Motores eléctricos

Se considera que los motores trifásicos consumen un promedio entre el 65 y 70 % de la electricidad industrial, siendo en su gran mayoría, asíncronos, del tipo de rotor jaula de ardilla y de eficiencia estándar, entre 88 a 90%. (Krentz, J.H., 1985)

Muchas máquinas, especialmente bombas y ventiladores, necesitan acomodar su potencia de salida para adecuarse a las necesidades variables de los procesos en los que intervienen. Este cambio se suele llevar a cabo haciendo funcionar la bomba o ventilador en cuestión a plena velocidad y "regulando" su potencia de salida mediante una válvula parcialmente cerrada.

Los modernos dispositivos electrónicos con velocidad ajustable pueden reducir las pérdidas de energía, logrando ahorros que pueden variar desde un 20 a un 40%, con aplicaciones típicas que reducirían la energía total consumida por los motores en las plantas industriales.

La amortización se produciría en un plazo de seis meses a tres años con un valor medio de un año.

1.3.8 Tercera fase: Elaboración del informe técnico.

Posterior a los trabajos de campo harán trabajos de gabinete(Krentz, J.H., 1985):

- Interpretar los datos obtenidos.
- Elaborar curvas de tendencia
- Simular cálculos de potencia, rendimientos y costos
- En la auditoria de debe tener como resultado el ahorro en motores y otros equipos seleccionados.
- Calcular el nivel actual de pérdidas y elaborar plan de acción para su reducción o en caso contrario definir la factibilidad técnica-económica de reemplazar los equipos por otros más eficientes a corto plazo.

1.3.9 Cuarta Fase: Implementación de las mejoras monitoreo y seguimiento.

Luego de concluir la evaluación energética de la planta industrial e identificado las mejoras se procederá con implementación de los mismos. (Krentz, J.H., 1985)

1.3.10 Rendimiento de motores trifásico (NEMA, 1997)

Se usa el método diseñado por el Departamento de energía de Estados Unidos:

$$\text{Carga del motor eléctrico: } C_{ME} = \frac{S}{(S_s - S_n) * \left(\frac{U_r}{U}\right)^2} * 100 (\%) \quad (9)$$

- CME: Carga, como potencia de salida del motor en función del % de potencia nominal
- S: Deslizamiento del motor: velocidad de sincronismo – velocidad de rotación en rpm
- S_s = Velocidad de sincronismo, en rpm
- S_n : Velocidad de rotación nominal, a plena carga, en rpm
- U: Tensión trifásica promedio, en bornes del Motor Eléctrico, V

- U_r : Tensión trifásica nominal, V

Potencia promedio absorbida por motor:

$$\overline{P}_{abs}(kw) = \sqrt{3} * \overline{U}_L(V) * \overline{I}_L(A) * \overline{\cos\varphi} * 10^{-3} \quad (10)$$

Tensión de línea promedio:

$$\overline{U}_L(V) = \frac{U_{L1} + U_{L2} + U_{L3}}{3} \quad (11)$$

Intensidad de línea promedio:

$$\overline{I}_L(A) = \frac{I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}}{3} \quad (12)$$

Factor de potencia promedio:

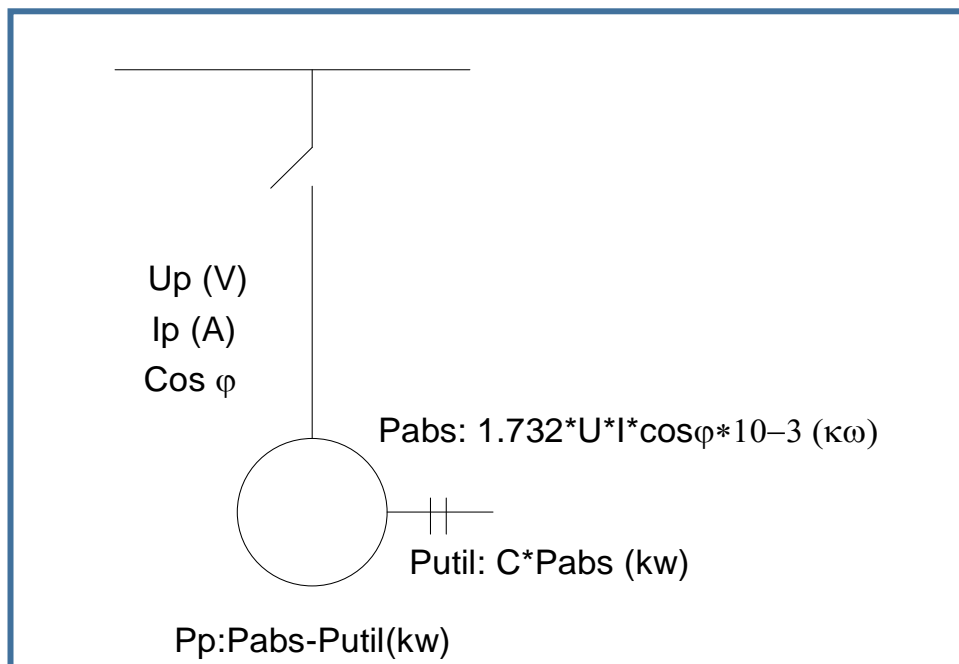
$$\overline{\cos\varphi} = \frac{\cos\varphi_1 + \cos\varphi_2 + \cos\varphi_3}{3} \quad (13)$$

La definición NEMA de la eficiencia del motor no es más que la relación entre la potencia útil de salida y la potencia total de entrada, en %, como se observa en la siguiente ecuación:

$$\eta_{ME} = \frac{0.7457 * P_n(HP) * C(\%)}{P_{abs}(kw)} (\%) \quad (14)$$

- η_{ME} : Eficiencia del motor eléctrico en operación, %
- P_n : Potencia nominal del Motor, HP
- C : Carga de operación del motor eléctrico, %
- P_{abs} : Potencia trifásica absorbida por el motor, kw

Figura 3: Parámetros para determinar eficiencia de motor trifásico.



Fuente: (NEMA, 1997)

1.3.11 Eficiencia en operación del transformador trifásico (Cortéz Ch., 1977)

Datos del transformador:

- S_n (KVA): Potencia nominal aparente
- U_{1n} (V): Tensión en bornes de entrada
- U_{2n} (V): Tensión en bornes de salida
- K_{tr} : Relación de transformación: U_{1n}/U_{2n}
- I_2 : Intensidad de operación, A
- α : Índice de carga = I_2/I_{2n}

$\cos \varphi_2$: Factor de potencia de la instalación en servicio.

Eficiencia del transformador en operación:

$$\eta_{Tr-oper}(\%) = \frac{S_n * \alpha * \cos \varphi_2}{S_n * \alpha * \cos \varphi_2 + P_{FE} + \alpha^2 * P_{n-Cu}} * 100 \quad (15)$$

Datos del fabricante:

- P_{Fe} : Potencia perdida en el Hierro, kw
- P_{nCu} : Potencia perdida nominal en el cobre, kw

Eficiencia máxima del transformador

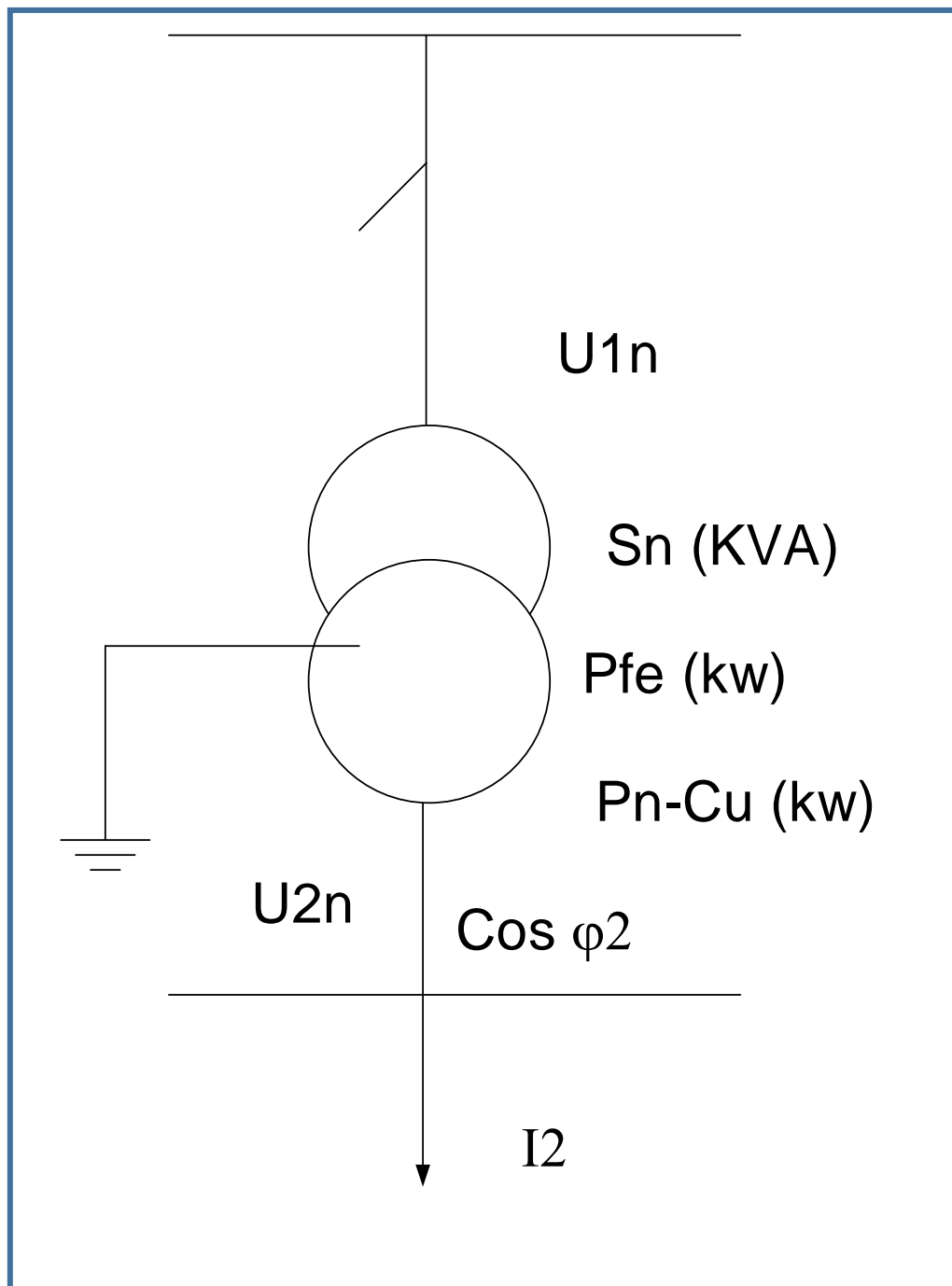
Se determina el índice de carga óptimo, α_{opt} :

$$\alpha_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{P_{\text{Fe}}}{P_{\text{n-Cu}}}} \quad (16)$$

→ Eficiencia máx de Trafo:

$$\eta_{\text{máx}} = \frac{S_n * \alpha_{\text{opt}} * \cos\varphi_2}{S_n * \alpha_{\text{opt}} * \cos\varphi_2 + P_{\text{FE}} + \alpha^2 * P_{\text{n-Cu}}} * 100 \quad (17)$$

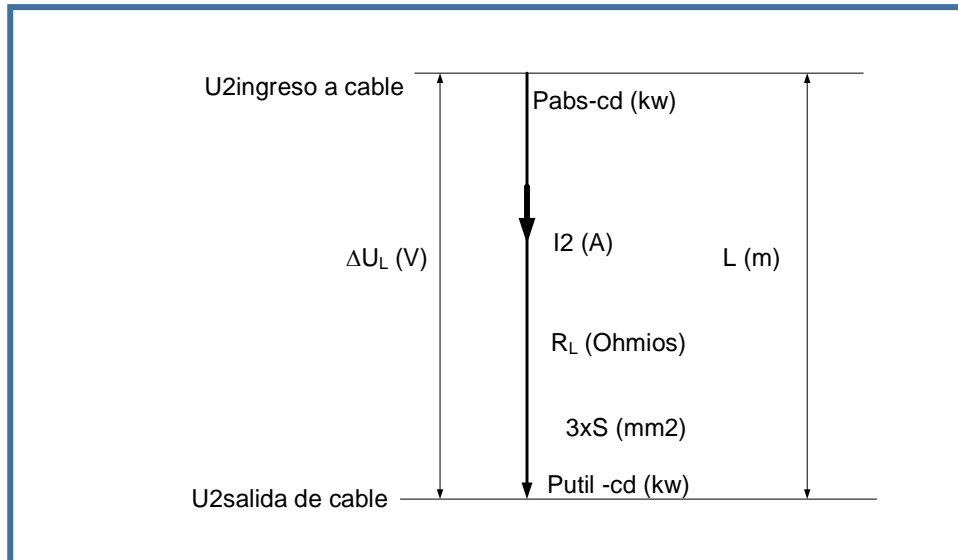
Figura 4: Parámetros para determinar eficiencia de transformador trifásico.



Fuente: Cortéz Ch., 1977

1.3.12 Eficiencia de conductor trifásico (Cortéz Ch., 1977)

Figura 5: Parámetros para calcular eficiencia de conductor trifásico.



Fuente: (Cortéz Ch., 1977)

Datos del cable:

- R (Ohmios)
- ρ_{Cu} : Resistividad eléctrica del cobre ($\Omega \cdot m/mm^2$)
- L : Longitud total
- S = Sección transversal (mm^2)

Resistencia óhmica del conductor:

$$R_L = \rho_{Cu} * \frac{L}{S} \quad (18)$$

Caída de tensión admisible: $\Delta U_{adm} = (1 \dots 3.5)\% * U_{2n} (V)$

Se tiene, caída de tensión en un cable trifásico:

$$\Delta U_{cable}(V) = \sqrt{3} * I_L(A) * R_L(\Omega) \quad (19)$$

Potencia perdida en cable trifásico:

$$P_{p-cable}(kw) = 3 * R_L * I_L * 10^{-3} = \sqrt{3} * \Delta U_{cable} * I_L * 10^{-3} \quad (20)$$

Potencia absorbida en cable. Pabs-cble:

$$P_{abs-cable}(kw) = \sqrt{3} * U_2 * I_L * 10^{-3} \quad (21)$$

Potencia útil del cable, Pu-cble:

$$P_{u-cable}(kw) = P_{abs-cble} - P_{p-cble} \quad (22)$$

Eficiencia del cable trifásico:

$$\eta_{cable} = 1 - \frac{P_{p-cble}}{P_{Abs-cble}} = \frac{P_{u-cble}}{P_{Abs-cble}} \quad (23)$$

Motor de inducción asíncrono (NEMA 1977)

Generalidades

La máquina de inducción trifásica, o máquina asíncrona trifásica, es la más utilizada en los accionamientos eléctricos de potencias medias y grandes, trabajando bajo régimen de motor. La máquina asíncrona es una máquina de C.A. que tiene una velocidad de rotación variable en carga, a una frecuencia constante de la red.

Las máquinas asíncronas más conocidas son aquellas sin colector denominadas también máquinas de inducción y son utilizadas como motores casi en exclusividad.

Los motores asíncronos monofásicos se utilizan mayormente en equipos domésticos: ventiladores, aspiradoras, máquinas de lavar.

1.3.13 Tipos de máquinas asíncronas (Cortéz Ch., 1977)

- Con rotor bobinado (con anillos colectores)
- Con rotor en corto circuito

El estator tiene la función de producir el campo magnético inductor, está formado por la carcasa, núcleo magnético, devanados. Los grupos de bobinas se conectan entre ellas y el devanado de fase tiene solamente dos cabezas sacadas en la placa de bornes.

Las tensiones electromotrices que se inducen en los devanados de fase forman un sistema simétrico equilibrado solamente si los devanados tienen el mismo número de espiras, y sus bobinas se suceden en el mismo orden bajo todos los polos.

1.3.14 Tipos de rotor del motor (Cortéz Ch., 1977)

- Con devanado bobinado
- Co devanado de barras en corto circuito

Los devanados para el rotor bobinado se hacen de bobinas similares utilizadas en la ejecución de los devanados estatóricos. El devanado para los rotores en corto circuito está formado de barras sin aislamiento

Particularidades constructivas de los motores monofásicos asíncronos

Se construyen para potencias menores a 1 kw. El estator se hace con polos hundidos o con polos aparentes y el rotor se realiza de jaula

Ecuaciones de funcionamiento en vacío (Cortéz Ch., 1977)

Componente activa de la corriente de funcionamiento en vacío:

$$I_{0a} = \frac{P_{Fe} + P_{ela} + P_{mec} + v}{m_{ut}} \quad (24)$$

Corriente de funcionamiento en vacío: $I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_\mu^2}$ (25)

Factor de potencia: $\cos \varphi_0 = \frac{I_{0a}}{I_{ea}} \cong 0.07 - 0.15$ (26)

Parámetros correspondientes al régimen de cortocircuito

Resistencia equivalente del circuito: $R_k = C_1 R_1 + C_1^2 + R_2'$ (27)

Reactancia de cortocircuito: $X_k = C_1 C_{13} + C_1^2 X_{2s}'$ (28)

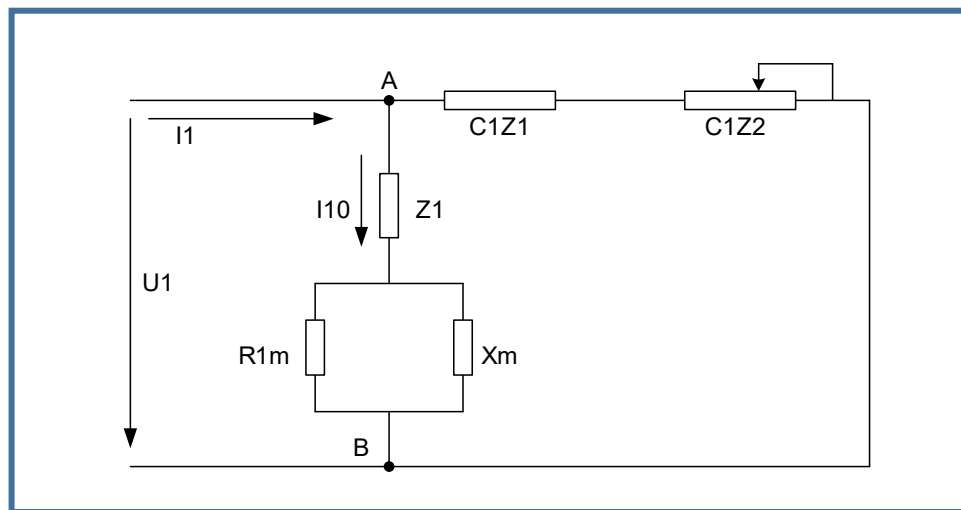
C1: coeficiente de corrección $C_1 = 1 + \frac{Z_1}{Z_{in}}$ ó $C_1 \cong 1 + \frac{X_{1\tau}}{X_{in}}$ (29)

Para motor fasado en rotor resulta: $M = \frac{P_{m1}}{\omega_1} \frac{R_2'}{S} I_2^2$ (30)

Torque electromagnético: $M = \frac{P_{m1}}{\omega_1} \frac{\frac{R_2'}{S} U_1^2}{(R_1 + C_1 \frac{R_2'}{S})^2 + (X_1 + C_1 X_2')^2}$ (31)

Torque de arranque: $M_p = \frac{P_{m1}}{\omega_1} \frac{R_2' U_1^2}{(R_1 + C_1 + R_2')^2 + (X_1 + C_1 + X_2')^2}$ (32)

Figura 6: Esquema equivalente para una fase de una máquina asíncrona



Fuente: Cortéz Ch., 1977

Partes del motor trifásico (Cortéz Ch., 1977)

Estator: que tiene como rol el de inductor, está construido de placas en las cuales se practican las crestas en cuyo interior se introduce el bobinado trifásico.

Rotor: tiene el rol de inducido, realizado de placas estampadas, en cuyas muescas se pueden encontrar barras de aluminio (motor de inducción con rotor en jaula) o un devanado trifásico cuyos extremos están conectados a través de los anillos de deslizamiento dentro de la (máquina de inducción de la herida rotor) del husillo 3. El acceso a los anillos del bloque de terminales se consigue con 3 cepillos.

Al cargar el devanado del estator con un sistema trifásico de tensiones de fase se forma un sistema de corrientes que producen un campo magnético giratorio. Esto inducirá en los conductores del rotor una tensión electromotriz. En el circuito cerrado del rotor se formarán corrientes que producirán un campo magnético en la misma dirección que el campo del estator. La interacción de estos dos campos pondrá en movimiento el rotor en el sentido del campo magnético giratorio.

El motor se llama asíncrono porque la velocidad del rotor es siempre inferior (para el modo de motor) que la velocidad del campo magnético rotativo, conocida como velocidad sincrónica. Si la velocidad del rotor sería igual a la

velocidad de sincronismo, entonces no sería el fenómeno de la inducción electromagnética, no induciría corrientes en el rotor y el motor ya no desarrollaría torque.

Velocidad de rotación del campo magnético giratorio (Cortéz Ch., 1977)

Está dada por la frecuencia de alimentación y el número de pares de polos que se forman en el estator: $n_1 = \frac{60 * f}{p}$. (33)

f – frecuencia de alimentación;

p – número de pares de polos magneticos.

Para frecuencia de 60 Hz, se obtienen las velocidades de rotación en función del número de pares de polos:

Tabla 2. *Fomato de registro de datos para medidas de velocidad de rotación*

P	1	2	3	4	...
n_1	3600	1800	1200	900	...

Fuente: Elaboracion propia.

Deslizamiento del motor (Cortéz Ch., 1977)

Notado con “s” siendo rotación del campo magnetico giratorio estatórico dada por la diferencia entre la rotación del motor y la: $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$. (34)

Dónde:

n_1 – rotación de sincronismo;

n – rotación del rotor.

La modificación de la velocidad de rotación se puede hacer modificando la frecuencia en la tensión de alimentación, del número de pares de los polos magnéticos o del deslizamiento. La modificación del sentido de rotación del rotor se hace cambiando la sucesión de las fases (cambiando dos fases de la tensión de alimentación entre ellas).

Regímenes de funcionamiento de las máquinas de inducción(Cortéz Ch., 1977)

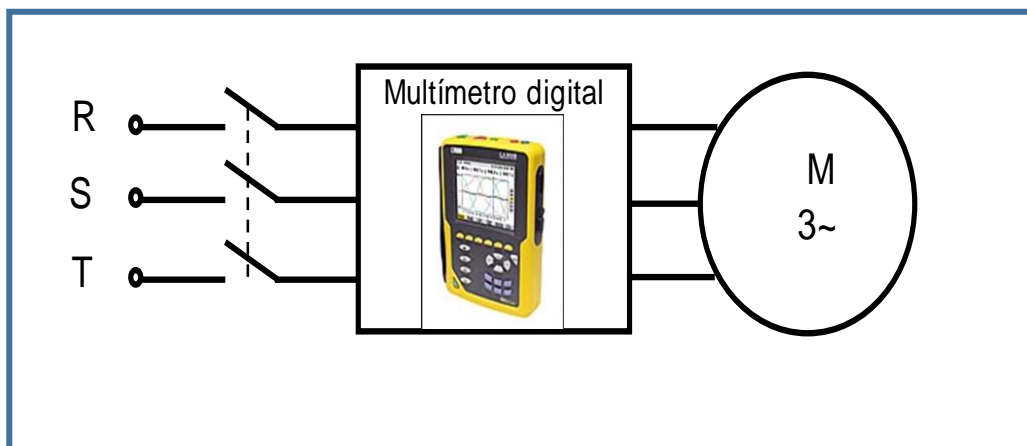
Régimen de marcha en vacío

Representa el funcionamiento del motor de inducción cuando en su eje no se conecta ninguna carga. En esta situación la velocidad de rotación del rotor se acerca de la de sincronismo, el deslizamiento tiene valores cercanos a cero. En el arranque del motor de inducción mediante la conexión directa a la red éste absorberá una gran intensidad de corriente (de hasta 6-10 veces mayor que la nominal), por un período corto de tiempo (hasta alcanzar la velocidad nominal). Después de estabilizar la velocidad de rotación el valor de la corriente absorbida de la red en marcha en vacío comprende las pérdidas el devanado y el el hierro más las mecánicas (cojinetes, ventilación).

Prueba en vacío del motor (Cortéz Ch., 1977)

En la práctica se puede realizar mediante la alimentación de la máquina de inducción de la red, con el devanado rotórico en corto circuito y sin carga acoplada al eje del motor, este regimen se puede practicar alimentando. En este régimen la máquina absorbe de la red una potencia que cubre las pérdidas en el hierro, en el devanado del estator y de las pérdidas mecánicas (despreciando las pérdidas suplementarias y las del devanado del rotor).

Figura 7. Montaje experimental para prueba de marcha en vacío de la máquina de inducción.



Fuente: Cortéz Ch., 1977

Para tensión de alimentación variable, desde un valor mínimo hasta $1.2 \cdot U_n$ se mide la corriente estatística I_{10} , la potencia absorbida por la máquinas - P_{10} ,

Tabla 3. *Formato de registro de medidas en marcha en vacío*

U₁[V]	I₁₀[A]	P₁₀[W]	p_{Cus0}[W]	p_{Fe+mec}[W]	cosφ₀	U²₁[V²]

Fuente: Elaboracion propia.

Pérdidas en los devanados del estator en marcha en vacío:

$$p_{Cus0} = 3 \cdot R_1 \cdot I_{10}^2 \quad (35)$$

Pérdidas en el hierro más pérdidas mecánicas:

$$p_{Fe+mec} = P_{10} - p_{Cus0} \quad (36)$$

Factor de potencia en marcha en vacío:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_{10}}{\sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot I_{10}} \quad (37)$$

La separación de las pérdidas mecánicas de las pérdidas en el Hierro se realiza representando p_{Fe+mec} en función de U_1^2 , extrapolándose la parte rectilínea inferior de esta curva hasta su intersección con el eje de ordenadas.

El segmento obtenido en el eje de las ordenadas representa las pérdidas mecánicas del motor.

Se representa también las características de funcionamiento en vacío:

- $p_{Fe+mec} = f(U_1)$;
- $\cos \varphi_0 = f(U_1)$;
- $I_{10} = f(U_1)$.

Para el valor nominal de la tensión de alimentación los datos se pasan a la tabla 4 siguiente y se calculan los parámetros de marcha en vacío con las relaciones:

$$R_0 = \frac{P_{10}}{3 \cdot I_{10}^2} \quad X_0 = \sqrt{\left(\frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot I_{10}} \right)^2 - R_{10}^2} \quad (38)$$

Tabla 4. Formato de registro de parámetros activos y pasivos del motor

$U_{1N}[V]$	$I_{10}[A]$	$P_{10}[W]$	$Z_0[\Omega]$	$R_0[\Omega]$	$X_0[\Omega]$	K

Fuente: elaboracion propia.

Régimen de corto circuito (Cortéz Ch., 1977)

Representa el funcionamiento del motor cuando el rotor está bloqueado mecánicamente.

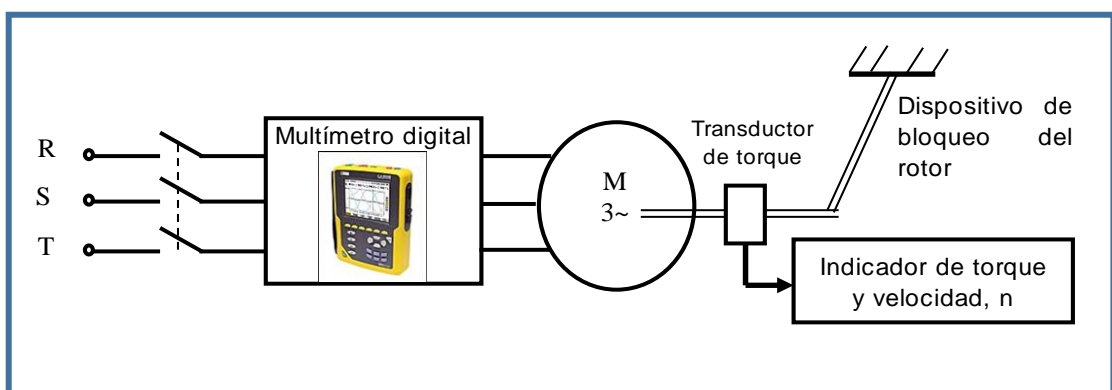
En este caso el valor del deslizamiento es 1 y para limitar la corriente en la máquina la tensión de alimentación es pequeña, se realiza para determinar los parámetros del esquema equivalente y del torque desarrollado por el motor.

Prueba de motor trifásico en corto circuito (Cortéz Ch., 1977)

El régimen de corto circuito corresponde al funcionamiento con el rotor bloqueado para lo cual $s = 1$.

El montaje experimental se presenta en le figura 8 el rotor se bloquea mecánicamente, teniendo cuidado que el sentido de rotación sea conocido (en caso contrario existe peligro de accidente).

Figura 8. Montaje experimental para prueba en corto circuito de la máquina de inducción



Fuente: Cortéz Ch., 1977

El devanado estatórico se alimenta con una fuente de tensión variable con tensión reducida, entre, entre $0.2 U_n$ y $0.6 U_n$. Se mide la corriente de corto circuito I_{sc} , la potencia de cortocircuito P_{sc} y el torque desarrollado en el eje, M_{sc} .

Tabla 5. Formato para registro de datos en prueba de corto circuito del motor

$U_{sc}[V]$	$I_{sc}[A]$	$P_{sc}[W]$	$M_{sc} [Nm]$	$\cos\phi_{sc}$

Fuente: Elaboracion propia.

Con los resultados de la tabla 5 se representan gráficamente las caractaerísticas de funcionamiento en corto circuito:

$P_{sc} = f(U_{sc})$; $\cos\phi_{sc} = f(U_{sc})$; $I_{sc} = f(U_{sc})$. Se calcula, utilizando los valores más grandes de la corriente y de la tensión medida, la corriente de arranque con:

$$I_{sp} = \frac{U_{sN} - U_{sc}^*}{U_{sc} - U_{sc}^*} I_{sc} \quad (39)$$

I_{sc} , U_{sc} - valores más grandes de la corriente y de la tensión en la prueba de corto circuito;

Torque de arranque correspondiente al valor nominal de la tensión (Cortéz Ch.,1977)

$$M_p = \frac{I_{sp}}{I_{sc}} M_{sc} \quad (40)$$

Para el valor nominal de la corriente de corto circuito se mide la tensión estatórica y la potencia absorbida por la máquina.

Parámetros de marcha en corto circuito(Cortéz Ch., 1977):

$$R_{sc} = \frac{P_{sc}}{3 \cdot I_{sc}^2} \quad X_{sc} = \sqrt{\left(\frac{U_{sN}}{\sqrt{3} \cdot I_{sp}} \right)^2 - R_{sc}^2} \quad (41)$$

Tabla 6. Formato de registro de parámetros pasivos en prueba de corto circuito

$U_{1scN}[V]$	$I_{1N}[A]$	$P_{scN}[W]$	$Z_{sc}[\Omega]$	$R_{sc}[\Omega]$	$X_{sc}[\Omega]$

Fuente: elaboracion propia.

Parámetros del esquema equivalente (Cortéz Ch., 1977)

Del esquema equivalente de la máquina de inducción, en marcha en vacío:

$$\begin{aligned} R_0 &= R_s + R_m \\ X_0 &= X_{s\sigma} + X_m \end{aligned} \quad (42)$$

Valor de R_s se determina por medición directa

Resultando para R_m la expresión:

$$R_m = R_0 - R_s \quad (43)$$

Resistencia del devanado rotórico, en relación al estator:

$$R'_r = \frac{R_{sc} - R_s}{X_0 - X_{sc}} X_0 \quad (44)$$

Reactancias de fugas:

$$X_{s\sigma} + X'_{r\sigma} = X_{sc} - \frac{(R_{sc} - R_s)^2}{X_0 - X_{sc}} \quad \frac{X_{s\sigma}}{X'_{r\sigma}} = \frac{R_s}{R'_r} \quad (45)$$

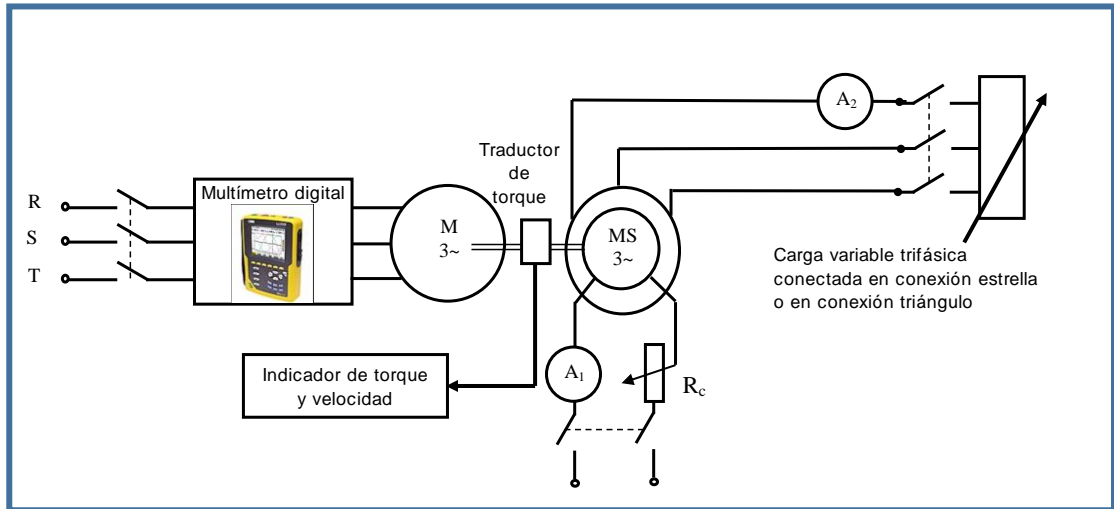
Reactancia de magnetización:

$$X_m = X_0 - X_{s\sigma} \quad (46)$$

Características de funcionamiento del motor de inducción (Cortéz Ch., 1977)

Las características de funcionamiento en carga se determinan acoplando al eje del motor de inducción de una máquina síncrona que funciona en régimen de generador y que descarga en los bornes de una carga resistiva, trifásica, variable.

Figura 9: Montaje experimental para levantar las características de funcionamiento del motor de inducción.



Fuente: Cortéz Ch., 1977

Para cada etapa de carga del generador síncrono se calcula el factor de potencia ($\cos\phi$), la potencia útil (P_2), el rendimiento (η) y el deslizamiento (s) con:

$$\cos \phi = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1} \quad (47)$$

$$P_2 = \frac{\pi \cdot n \cdot M_{\text{util}}}{30} \quad (48)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100 \quad (49)$$

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} 100 \quad (50)$$

n_1 – velocidad de sincronismo de la máquina de inducción.

Cálculos de conductores activos trifásicos (Krentz, J.H., 1985)

Se considera la misma sección de los conductores en sistemas trifásicos, fase o neutro o tres fases y neutro, considerando que se permita una reducción en la sección del neutro según permita la línea.

Se debe cumplir con las tres condiciones siguientes para dimensionar la sección del conductor:

- Considerar la intensidad máxima admisible

- Considerar la caída de tensión
- Mínimos según reglamento.

Se considera para conductores activos los siguientes colores:

- Fases: usar colores Negro, Marrón o Gris
- Neutro: Usar color Azul

Cálculo a intensidad máxima:

El suministro trifásico soportara la intensidad según potencia que alimenta la línea.

$$I[A] = \frac{P[w]}{\sqrt{3} \times U[V] * \cos \varphi} \quad (51)$$

Siendo:

I: Intensidad en amperios (A)

P: Potencia en vatios (V)

U: Tensión en voltios (en monofásico entre fase y neutro = 230V, en trifásico entre fase y fase = 400V)

Cos φ : Factor de potencia (generalmente se usa 0.85 en instalaciones normales, 1 cuando es resistencia pura).

Con el valor de la intensidad vemos en la tabla correspondiente y decidimos la sección de cable que soporta un sobrecalentamiento admisible.

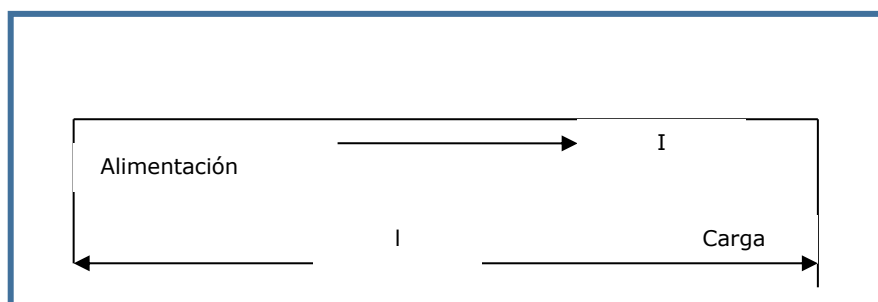
Conductores alimentadores trifásicos(Krentz, J.H., 1985)

Es fundamental considerar la siguiente situación para determinar la sección de conductores que alimentan a un conjunto de Cargas (Alimentadores):

Alimentadores con Carga Concentrada. (Krentz, J.H., 1985)

En este caso se considera una determinada distancia para el centro de cargas hacia el punto de empalme o alimentación al sistema, tal como se muestra en el esquema:

Figura 10. Esquema de análisis conductores con carga concentrada.



Fuente: Krentz, J.H., 1985

Para determinar la sección del conductor del alimentador Trifásicos

$$S = \frac{\rho * L}{U_p} * I [\text{mm}^2] \quad (52)$$

ρ = Resistividad eléctrica del material del conductor, $\frac{\Omega * \text{m}}{\text{mm}^2}$

L = Longitud del conductor, m

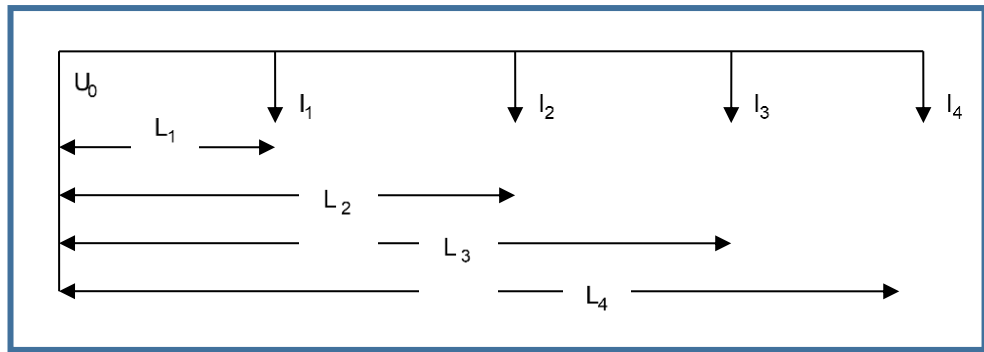
U_p = Caída de tensión, V

Alimentadores con carga distribuida (Krentz, J.H., 1985)

Para este caso, el dimensionamiento del conductor se considera dos criterios:

- Sección Constante.
 - Sección Cónica.
- a. **Sección constante:** Su dimensionamiento resulta ser constante en toda la extensión del Alimentador; en este caso tendremos (Krentz, J.H., 1985)

Figura 11. Esquema de conductor con carga distribuida, método sección constante



Fuente: Krentz, J.H., 1985

$I_1; I_2; I_3; I_4$: Corrientes de rama (propia de los consumos del Alimentador) (A)

$L_1; L_2; L_3; L_4$: Longitud de cada uno de los tramos del Alimentador (m)

$$\Delta U[V] = R_{\text{cond}} * I_L = \rho_{\text{Cond}} \frac{L}{S_{\text{cond}}} \quad (53)$$

El criterio es mantener la caída de tensión constante por tramo de conductor

$$S_T = \sum_{i=1}^n S_i = S_1 + S_2 + \dots S_n = \frac{\rho}{\Delta U_{\text{tramo}}} * (I_1 * L_1 + I_2 * L_2 + \dots + I_n * L_n) \quad (54)$$

Para alimentador trifásico: $S(\text{mm}^2)$

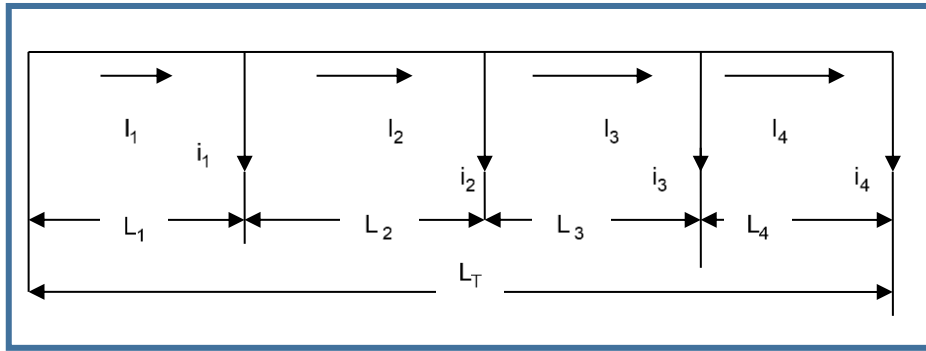
$$= \frac{\rho}{\Delta U_T} * (L_1 * I_1 + L_2 * I_2 + L_3 * I_3 + L_4 * I_4) \quad (55)$$

En la cual: ΔU = Caída de tensión admisible = % de U_0

b. Criterio de sección cónica:

Según este criterio, la dimensión de los conductores disminuye en su medida según nos alejamos de la Alimentación (Krentz, J.H., 1985):

Figura 12. Esquema de conductor trifásico con carga distribuida, sección cónica



Fuente: Krentz, J.H., 1985

En la situación del diagrama se presenta que:

$$I_1 = i_1 + i_2 + i_3 + i_4 \text{ (A)}$$

$$I_2 = i_2 + i_3 + i_4 \text{ (A)}$$

$$I_3 = i_3 + i_4 \text{ (A)}$$

$$I_4 = i_4 \text{ (A)}$$

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \text{ (m)}$$

Densidad de corriente, según la expresión para alimentador trifásico:

$$\delta = \frac{I}{S} = \frac{U_p}{\rho * L_T} \left(\frac{A}{\text{mm}^2} \right) \quad (56)$$

Para determinar la sección en cada tramo, se hace uso de la siguiente ecuación:

$$S_1 = \frac{I_1}{\delta} \quad S_2 = \frac{I_2}{\delta} \quad S_3 = \frac{I_3}{\delta} \quad S_4 = \frac{I_4}{\delta} \quad (57)$$

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida un plan de eficiencia energética en base a auditoría eléctrica al sistema de distribución trifásico permitirá reducir la facturación eléctrica en planta industrial JJK S. A. C. Trujillo?

1.3. Justificación del estudio

Justificación tecnológica.

Se contará con tecnología moderna, que sustituirá a la antigua, con mayor eficiencia y confiabilidad operacional

Justificación social.

Al lograr la mejora operacional y de costos del sistema eléctrico de potencia en la empresa JJK SAC, se tendrá un mejor ambiente laboral, pues existirán menos problemas técnicos que afecten el sistema de producción

Justificación económica.

Al obtenerse mayor continuidad operacional y reducir los costos de energía eléctrica, se tendrá una mejor gestión de producción, con mayores ingresos económicos, que redundará en beneficios para los trabajadores

Justificación técnica.

Al aplicar el sistema de auditoría y para lograr la continuidad operacional y de costos, se deberá capacitar al personal de mantenimiento eléctrico, de tal modo que aumenten sus habilidades técnicas para el mantenimiento eléctrico y operacional necesarios.

1.4. Hipótesis

Un Plan de eficiencia energética basada en auditoría eléctrica en sistema de distribución trifásico permitirá reducir la facturación eléctrica en Planta Industrial JJK S.A.C de Trujillo.

1.5. Objetivos.

1.3.15 Objetivo general

Elaborar un Plan de eficiencia energética en base a auditoría eléctrica en sistema de distribución trifásico para reducir la facturación eléctrica en la Planta JJK S.A.C. de Trujillo.

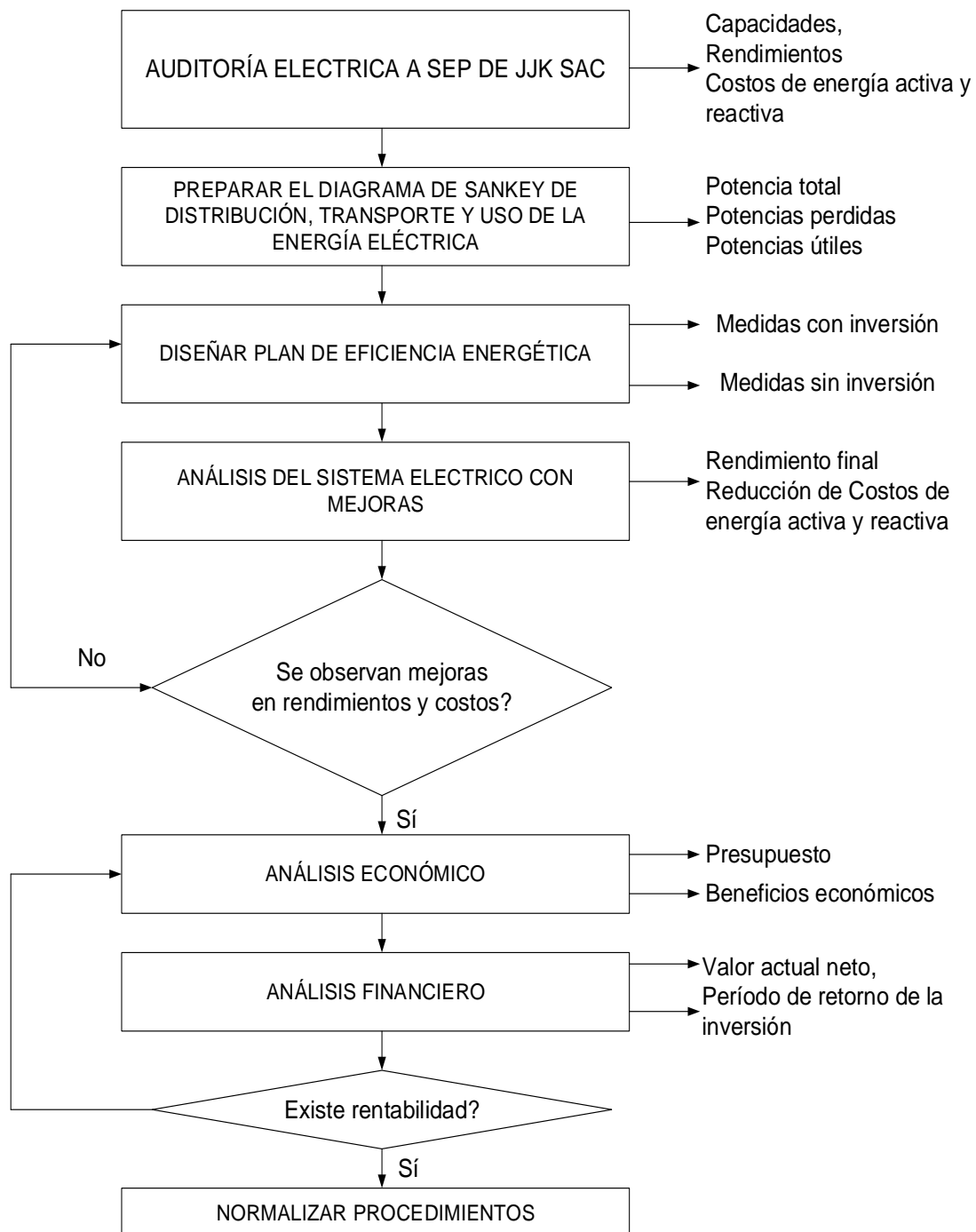
1.7.2 Objetivos específicos

- Realizar una auditoría, según normas al sistema eléctrico trifásico de planta JJK SAC Trujillo, en el sistema de transformación, distribución y uso de energía eléctrica; determinando capacidades, rendimientos y costos de energía activa y reactiva
- Preparar el diagrama de Sankey de distribución, transporte y uso de la energía eléctrica en Planta JJK SAC.
- Diseñar un Plan de eficiencia energética
- Estimar capacidades, rendimientos y costos de facturación nuevos
- Realizar un análisis de costo beneficio.
- Realizar un análisis económico

II. MÉTODO

2.1.Diseño de investigación

Figura 13. Diagrama de flujo de diseño de investigación.



2.2. Variables, Operacionalización

Medidas de mejora:

- Motores.
- Bancos de condensadores
- Luminarias.
- Cables eléctricos.
- Cambio de opción tarifaria,

En función de resultados de auditoría eléctrica

2.2.1. Variables dependientes

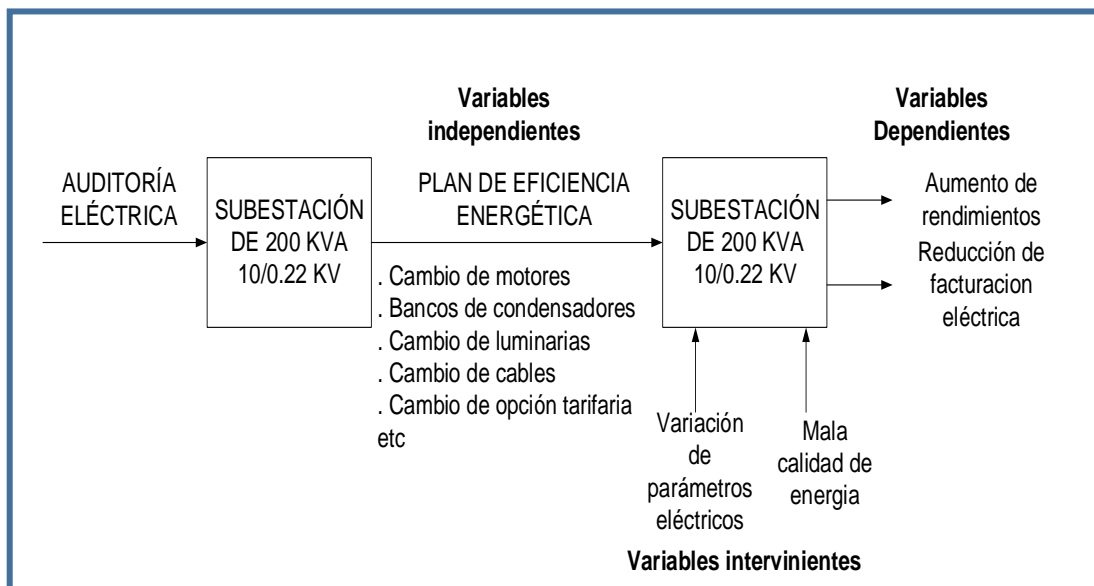
- Aumento de rendimientos de equipos eléctricos
- Reducción de costos de la Facturación de energía activa y reactiva

2.2.2. Variables intervinientes

Variación de parámetros eléctricos suministrados por el distribuidor de energía: Tensión en MT, V; frecuencia, Hz

Mala calidad de energía: Tasa de armónicos en intensidad, tasa de armónicos en corriente, etc.

Figura 14. Gráfico de variables.



Fuente. Elaboración propia

Tabla 7. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente: Potencia de Motor eléctrico trifásico	Máquina rotativa que convierte parte de la energía eléctrica que recibe en energía mecánica rotativa, con torque y velocidad de rotación	Producto de raíz de 3 por Intensidad de línea por intensidad de línea por factor de potencia	Potencia elevada Potencia media Potencia baja	Intervalo de valores 0...150 kw
Variable independiente: Potencia de Banco de condensadores trifásicos	Dispositivo en arreglo trifásico en estrella/triángulo, de capacitores, para aumentar el factor de potencia	Producto de tres por la reactancia capacitiva por fase por la intensidad al cuadrado	Potencia capacitiva elevada Potencia capacitiva media Potencia capacitiva baja	Intervalo de valores 0...100 KVA
Variable dependiente: Rendimiento de equipo eléctrico	Expresa el porcentaje de potencia aprovechada, en relación a la potencia total absorbida	Es la relación entre la potencia útil que entrega el dispositivo eléctrico y la potencia total absorbida	Rendimiento elevado Rendimiento óptimo Rendimiento bajo	Intervalo de valores 0...100 %
Variable Dependiente: Costo de energía activa	Es el valor monetario del consumo de energía en un período de tiempo	Es el producto de la energía en un periodo de tiempo por el costo unitario	Costo de EE Activa Costo de EE Reactiva	Intervalo de valores 0...150000 Soles/mes
Variable interviniente : Variación de parámetros eléctricos suministrados por distribuidor	Es la desviación de los valores de parámetros fuera de rangos admisibles, suministrados por el distribuidor de EE	Diferencia entre los parámetros nominales y reales, de energía eléctrica	Desviación elevado Desviación pequeño	Intervalo de valores 0...5% Un (V) 0...2% f (Hz)
Variable interviniente : Variación calidad de energía eléctrica	Aumento de la tasa de distorsión de armónicos en corriente y en tensión que afectan la operación de equipos eléctricos por aumento del amperaje y desviación de la onda eléctrica	Relación entre la Potencia de equipos que generan armónicos y la potencia del transformador	Tasa de distorsión armónicos elevada Tasa de distorsión de armónicos baja	Intervalos de valores: THI(v) < 0...10% THI(I) > 0...5 %

Fuente: elaboración propia.

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población: Subestaciones eléctricas de Plantas de harinas de plumas de aves del Departamento de la Libertad.

2.3.2. Muestra: Subestación eléctrica, 200 KVA, 10/0.22 Kv en Planta JJK SAC de Trujillo

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Tabla 8. *Formato de recolección de datos.*

Técnica	Instrumento	Objeto	Objetivos
Observación	Hoja Excel de toma de datos	Sistema eléctrico de Planta de harina de plumas de aves JJK SAC	Conocer el sistema eléctrico determinando los valores de sus principales parámetros e indicadores
Entrevistas	Hoja de entrevista	Personal de operación y de mantenimiento de equipos eléctricos	Definir aspectos operacionales, de mantenimiento, que permitan hacer un análisis más detallado de las características de equipos eléctricos
Encuestas	Hoja de encuestas	Personal ejecutivo de Planta JJK SAC Trujillo	Definir prioridades en cuanto a tecnologías, capacidad, y rendimientos y operaciones
Mediciones	Multímetros eléctricos Amperímetros de tenaza Vatímetros Analizadores de redes trifásicos	Instalaciones de equipos eléctricos y accesorios.	Determinar los valores reales actuales de los parámetros del sistema de transformación, distribución y consumo de EE, para establecer la capacidad real, rendimiento y costos
Análisis registro de datos	Hoja de Registro de datos e incidencias	Sub estación eléctrica trifásica de planta JJK SAC Trujillo.	Determinar frecuencia de mantenimiento eléctrico, fallas, reemplazos de equipos y estimar su vida útil, para posibles reemplazos

Fuente: elaboración propia.

2.5. Procedimiento

Se hará la observación del proceso de transformación y distribución de tensión en la Planta eléctrica de JJK SAC, preparando fichas de observaciones, realizadas por el autor, definiendo las variables del proceso eléctrico, y su importancia

Se hará una entrevista al personal de operación, mantenimiento y ejecutivo de JJK SAC, para analizar el problema de investigación y detalles de trabajos en el SEP para mejorar, utilizando la ficha de encuesta.

Empleando las fichas bibliográficas se hará la lectura de la literatura de especialidad

y trabajos similares, de tesis, artículos científicos, determinando enfoque del problema y su solución, también seleccionando las ecuaciones a utilizar en la ingeniería.

Se realizará mediciones de las variables de proceso: potencias activas, reactivas, factor de potencia, empleando las fichas de registro de datos, luego; con estadística descriptiva o inferencial se establecen los valores promedio.

Con la guía metodológica se aplicarán las teorías de sistemas eléctricos de potencia y sus ecuaciones para hallar capacidades, rendimientos y costos para plantear una solución al problema de investigación

Para la discusión, se hará un análisis de los resultados de cada objetivo, interpretándolos, y justificándolos, se define la incidencia de los parámetros de proceso, se hará, un análisis comparativo con los resultados de trabajos previos, que definan el grado de precisión

En conclusiones se demostrará que los objetivos específicos se han desarrollado, sacando las conclusiones en cada caso.

2.6.Métodos de análisis de datos

Se harán análisis descriptivos y analíticos de la subestación eléctrica de la Planta JJK SAC, definiendo y aplicando las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de variables y parámetros de la muestra de estudio, determinando indicadores de estadística descriptiva.

Los parámetros de proceso serán procesados con estadística descriptiva.

En el análisis cuantitativo, se aplicará la ingeniería básica:

Análisis de ingeniería eléctrica para determinar:

- Caídas de tensión
- Potencias activas
- Potencias reactivas
- Potencias aparentes
- Rendimientos
- Costos de procesos
- Factor de potencias

Que permitan establecer la situación actual en el sistema eléctrico de JJK

Análisis económico financiero

Determinando presupuestos, beneficios, valor actual neto, período de retorno de la inversión, que permitan determinar la rentabilidad de inversión

Los resultados obtenidos serán pasados en gráficos, tablas, etc, para analizar con mayor detalle el comportamiento

Aspectos éticos

La información presentada en el presente estudio ha sido desarrollada por el autor, sin plagio de ningún tipo.

III. RESULTADOS

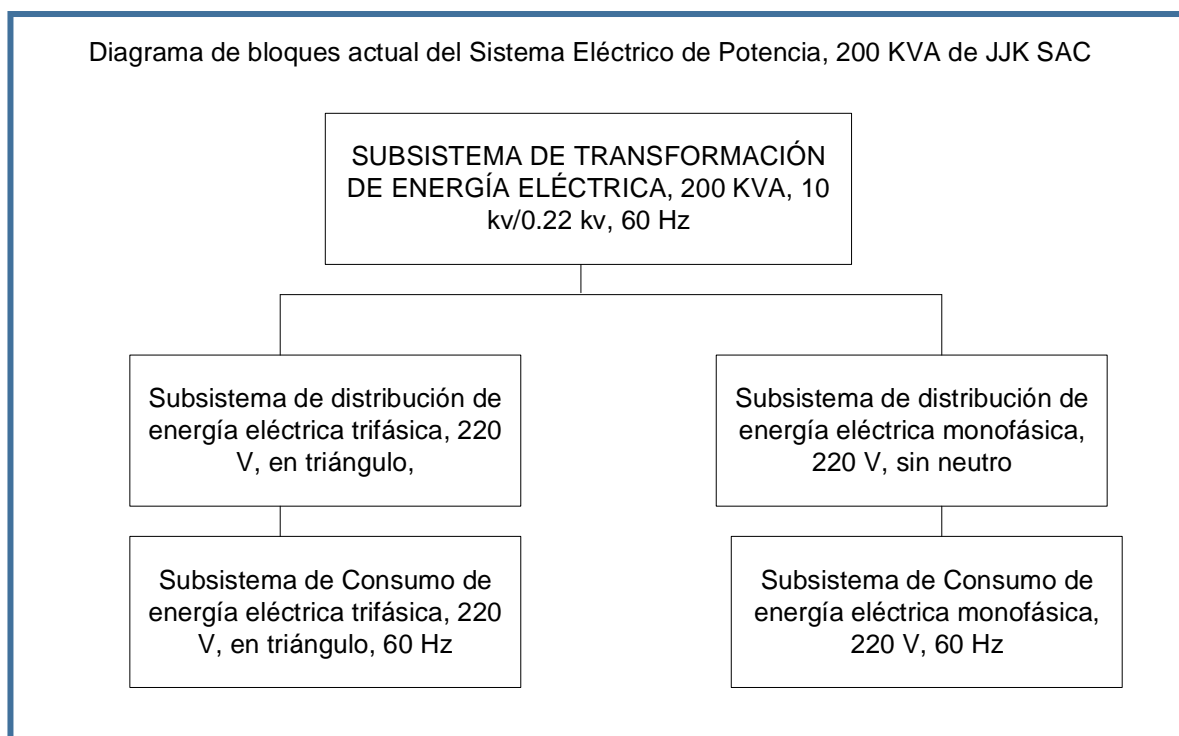
3.1. Auditoría según normas al sistema eléctrico trifásico de planta JJK SAC Trujillo.

Se realizó una auditoría al sistema eléctrico de potencia de JJK SAC, utilizando las normas eléctricas peruanas para determinar desviaciones de valores de eficiencia, capacidad y seguridad recomendados y las posibilidades de mejora, en los diferentes subsistemas eléctricos:

- Transformación de EE
- Distribución en 220 trifásico,
- Distribución en 220 monofásico y en el de consumo,

De acuerdo al diagrama de bloques de la Figura 15.

Figura 15: Diagrama de transformación, distribución y consumo de energía eléctrica en JJK SAC.



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la Figura 1, que el Sistema Eléctrico de Potencia de JJK SAC no cuenta con un sistema de medición ni monitoreo de parámetros eléctricos, tampoco con un sistema de mejora del factor de potencia, ni de calidad de energía, de igual modo, se observa que no existe un sistema de respaldo de energía, para cortes inesperados del suministro eléctrico.

3.1.1. Análisis del subsistema de transformación de tensión.

Se ha obtenido los datos de placa del transformador de distribución de la planta; necesarios para los análisis que se van a desarrollar.

Datos nominales del transformador:

Marca: Promelsa

Capacidad: 200 KVA

Frecuencia: 60 Hz.

Fases: Tres

Tensión entrada: 10,000 V

Tensión salida: 220 trifásico, en triángulo, con cinco taps regulables

Conexión: YD7

Pérdidas en vacío:

Pérdidas en corto circuito:

Altitud: 1000 msnm

Norma de Fabricación. : IEC 60076, ITINTEC 370.002

Refrigeración: SNAN

Fabricado bajo las siguientes normas:

N.T.P. 370.002 : Para diseño, fabricación y pruebas

IEC Publicación 60076 : Para diseño fabricación y pruebas

IEC Publicación 60076-7 : Para capacidades de sobrecarga

Con los datos de las facturas de electricidad de JJK SAC se determinan los valores promedio de:

Potencia activa en horas punta, kw/mes: 135.25

Potencia activa en horas fuera de punta, kw/mes: 125.71

Energía activa promedio en horas punta, kw-h/mes: 17,582.50

Energía activa promedio en horas fuera de punta, kw-h/mes: 42,488.85

Energía reactiva, kvar-h/mes: 42,049.95

Facturación mensual, sin IGV; soles/mes: 14,210.44

Estos datos y su procesamiento de presentan en la Tabla 9:

Tabla 9. Energías, potencias activas y reactivas y facturación mensual de EE en JJK SAC año 2018.

PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y FACTURACIÓN MENSUALES EN 2018 – JJK SAC														
TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P														
			Ene-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Set-18	Oct-18	Nov-18	Dic-18
Cargo Fijo Mensual	S./mes	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
Cargo por Energía Activa en Punta	S./kW.h	0.2359	17,615	17,615	17,875	17,342	17,251	17,368	17,160	17,940	17,680	17,810	17,602	17,732
Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	S./kW.h	0.1922	41,828	42,547	41,659	41,980	42,081	42,588	43,163	42,487	43,501	42,757	43,095	42,182
Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:														
Presentes en Punta	S./kW-mes	0.5360	135.50	135.50	137.50	133.40	132.70	133.60	132.00	138.00	136.00	137.00	135.40	136.40
Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	0.2646												
Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:														
Presentes en Punta	S./kW-mes	0.1387	123.75	125.88	123.25	124.20	124.50	126.00	127.70	125.70	128.70	126.50	127.50	124.80
Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	0.1410												
Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	S./kVar.h	0.0428	41,610	42,114	41,673	41,525	41,532	41,969	42,226	42,299	42,826	42,397	42,488	41,940
Soles/mes			14,072	14,232	14,105	14,032	14,030	14,175	14,246	14,306	14,462	14,332	14,351	14,183

Fuente: Datos de recibos de energía eléctrica JJK SAC, año 2018

Con los datos de la Tabla 9 se calcula el factor de potencia promedio para determinar otros indicadores

Energía activa promedio en horas punta, kw-h/mes: 17,582.50

Energía activa promedio en horas fuera de punta, kw-h/mes: 42,488.85

Energía reactiva, kvar-h/mes: 42,049.95

Energía activa total: $17582.5 + 42488.85 = 60,071.35$ kw.h/mes

Energía aparente promedio, kva-h/mes:

$$EE_S = \sqrt{EE_P^2 + EE_Q^2}$$

En la cual:

$$EE_S: \text{Energía aparente, } \frac{\text{KVA} - \text{h}}{\text{mes}}$$

$$EE_P: \text{Energía activa, } \frac{\text{Kw} - \text{h}}{\text{mes}}$$

$$EE_Q: \text{Energía reactiva, } \frac{\text{Kvar} - \text{h}}{\text{mes}}$$

Reemplazando:

$$EE_S = \sqrt{60071.35^2 + 42049.95^2} = 73326.43 \frac{\text{KVA}}{\text{mes}}$$

Factor de potencia promedio en Sistema eléctrico de potencia de JJK SAC:

$$\cos \varphi = \frac{EE_P}{EE_S}$$

Reemplazando en la ecuación anterior:

$$\cos \varphi = \frac{60071.35 \frac{\text{kw} - \text{h}}{\text{mes}}}{73326.43 \frac{\text{kva} - \text{h}}{\text{mes}}} = 0.8192$$

Ángulo de desfase intensidad tensión en la energía eléctrica:

$$\varphi = \arccos \varphi$$

$$\text{Reemplazando: } \varphi = \arccos 0.8192 = 35^\circ$$

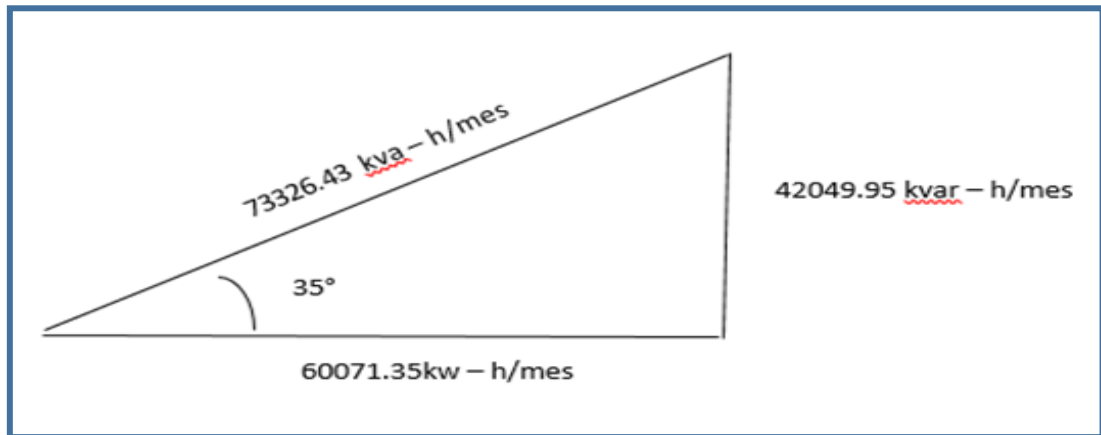
Se observa que el factor de potencia es muy bajo, no cuentan con banco de

condensadores para compensar el factor de potencia

Triángulo de energía en SEP JJK SAC:

Con los resultados obtenidos se prepara el triángulo de energía del SEP de planta JJK SAC:

Figura 16: Triángulo de energía eléctrica promedio de SEP JJK SAC. Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia

Nota: SEP. Sistema eléctrico de potencia

Carga de operación promedio del transformador

$$\alpha_{oper} = \frac{S_{real}}{S_{nominal}}$$

Siendo:

S_{real}: Potencia aparente absorbida real:

$$S_{real} = \frac{(EE_{HP} + EE_{FP}) \left(\frac{kw - h}{mes} \right)}{\cos \phi * T_p \left(\frac{h}{mes} \right)} (KVA)$$

T_{po}: Tiempo de operación mensual: (15 +3) h/d * 26 d/mes = 468 h/mes

$$\rightarrow S_{real} = \frac{(17,582.50 + 42,488.85) \left(\frac{kw - h}{mes} \right)}{0.8192 * 468 \left(\frac{h}{mes} \right)} = 156.68(KVA)$$

Reemplazando en la ecuación anterior:

$$\alpha_{oper} = \frac{156.68}{200} * 100 = 0.7834 = 78.34 \%$$

Se observa que el transformador trabaja con una carga promedio del 78.34 %

Potencia activa promedio útil del transformador: $P = 156.68 \text{ KVA} * 0.8192 = 128.35 \text{ KW}$

3.1.2. Pérdidas de potencia en transformador

Datos del transformador:

Pérdida nominal en el cobre: 4.25 kw

Pérdida nominal en el Hierro: 1.65 kw

Potencia nominal: 200 KVA

Tensión de salida, $U_{2n} = 220 \text{ V}$

Intensidad nominal de salida, en BT:

$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_{2n}}$$

Reemplazando y calculando:

$$I_{2n} = \frac{200,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} * 220 \text{ V}} = 524.86 \text{ A}$$

Rendimiento del transformador

Carga del transformador: 78.34 %

Factor de potencia de la instalación: 0.8192

$$\text{Rendimiento del transformador: } \frac{S_n * \alpha_c * \cos \varphi}{S_n * \alpha_c * \cos \varphi + P_{p-Fe} + \alpha_c^2 * P_{n-Cu}} * 100$$

Reemplazando y calculando:

$$\eta_{Tr} = \frac{200 * 0.7834 * 0.8192}{200 * 0.7834 * 0.8192 + 1.65 + 0.7834^2 * 4.25} * 100 = 96.78\%$$

Entonces, la potencia absorbida por el transformador, de la red, es:

$$P_{\text{abs-Tr}} = \frac{P_{\text{u-Tr}}}{\eta_{\text{Tr}}} = \frac{128.35 \text{ kw}}{0.9678} = 132.62 \text{ kw}$$

Pérdida de potencia activa en transformador:

$$P_{\text{P-Tr}} = P_{\text{abs-Tr}} - P_{\text{u-Tr}}$$

$$P_{\text{P-Tr}} = 132.62 - 128.35 = 4.27 \text{ kw}$$

3.1.3. Pérdidas de potencia en Conductores trifásicos de baja tensión

La sub estación eléctrica de JJK SAC distribuye en siete líneas principales.

Se calcula las pérdidas en cada una de ellas, con los datos de la figura número 1

- Material del cable: cobre
- Resistividad eléctrica del cobre: $0.0175 \Omega \cdot \text{m/mm}^2$
- U: 220 V
- $\cos\phi = 0.8192$

En cable de distribución N° 1:

$P_n = 5 \text{ kw}$

Intensidad de operación: 13.45 A (medido)

Longitud: 36 m

Sección transversal: 6 mm²

$$\text{Resistencia del conductor: } R_{\text{cd}} = \rho_{\text{Cu}} * \frac{L_{\text{cd}}}{S_{\text{cd}}} = 0.0175 * \frac{36}{6} = 0.105 \Omega$$

Pérdida de potencia en conductor a motor de 5kw:

$$P_{\text{p-cd1}} = 3 * R_{\text{cd}} * I_L^2 = 3 * 0.105 \Omega * 13.45^2 \text{ A}^2 = 56.984 \text{ w}$$

Potencia absorbida por motor eléctrico = Potencia útil del conductor, $P_{\text{u-cd}}$:

$$P_1: 1.732 * 0.8192 * 13.45 \text{ A} * 10^{-3} * 220 \text{ V} = 4,198.39 \text{ w}$$

Potencia absorbida por conductor: $P_{\text{u-cd}} + P_{\text{p-cd}}$

$$P_{\text{abs-cd}} = 4198.39 + 56.984 = 4255.374 \text{ w}$$

Caída de tensión en conductor nro. 1:

$$\Delta U_{\text{cd1}} (\text{V}) = \sqrt{3} * R_{\text{L1}} (\Omega) * I_{\text{L1}} (\text{A})$$

$\Delta U_{cd1}(V)$: Caída de tensión en conductor

$R_L(\Omega)$: Resistencia de línea del conductor

$I_L(A)$: Intensidad de operación en conductor

Reemplazando y procesando:

$$\Delta U_{cd1}(V) = \sqrt{3} * 0.105(\Omega) * 13.45(A) = 2.44 V$$

Caída de tensión porcentual, en conductor:

$$\Delta U_{cd1}(\%) = \frac{\Delta U_{cd1}(V)}{U_L(V)} * 100 = \frac{2.44}{220} * 100 = 1.11\% < 3.5 \%(máxima)$$

En cable THW de distribución para carga N° 2:

$P_n = 7.5 \text{ kw}$

Intensidad de operación: 21.20 A (medido)

Longitud: 46 m

Sección transversal: 10 mm²

$$\text{Resistencia del conductor: } R_{cd} = \rho_{Cu} * \frac{L_{cd}}{S_{cd}} = 0.0175 * \frac{46}{10} = 0.0805 \Omega$$

Pérdida de potencia en conductor a motor de 7.5 kw:

$$P_{p-cd1} = 3R_{cd} * I_L^2 = 3 * 0.0805 \Omega * 21.20^2 A^2 = 108.54 \text{ w}$$

Potencia absorbida por conductor $P_2 = 1.732 * 0.8192 * 220 * 21.20 = 6617.73 \text{ w}$

Potencia útil en conductor $P_{u-cd} = P_{abs} \text{ por ME N° 2: } 6617.73 + 108.54 = 6726.27 \text{ w}$

Caída de tensión en conductor nro. 2:

$$\Delta U_{cd2}(V) = \sqrt{3} * 0.0805(\Omega) * 21.20(A) = 2.956 V$$

Caída de tensión porcentual, en conductor:

$$\Delta U_{cd2}(\%) = \frac{\Delta U_{cd2}(V)}{U_L(V)} * 100 = \frac{2.956}{220} * 100 = 1.344\% < 3.5 \%(máxima)$$

En cable THW de distribución para carga N° 3:

$P_n = 30 \text{ kw}$

Intensidad de operación: 84.75 A (medido)

Longitud: 57.5 m

Sección transversal: 16 mm²

$$\text{Resistencia del conductor: } R_{cd} = \rho_{Cu} * \frac{L_{cd}}{S_{cd}} = 0.0175 * \frac{57.5}{16} = 0.063 \, \Omega$$

$$P_{p-cd1} = 3R_{cd} * I_L^2 * 10^{-3} = 3 * 0.063 \, \Omega * 84.75^2 A^2 * 10^{-3} = 1.3575 \, \text{kw}$$

$$\text{Potencia absorbida por conductor P3} = 1.732 * 0.8192 * 220 * 84.75 * 10^{-3} = 26.45 \, \text{kw}$$

$$\text{Potencia útil en conductor } P_{u-cd \, 3} = P_{abs \, ME \, N^{\circ} \, 3} = 26.45 + 1.3575 = 27.8075 \, \text{kw}$$

Caída de tensión en conductor nro. 3:

$$\Delta U_{cd3}(V) = \sqrt{3} * 0.063(\Omega) * 84.75(A) = 9.25 \, V$$

Caída de tensión porcentual, en conductor:

$$\Delta U_{cd3}(\%) = \frac{\Delta U_{cd3}(V)}{U_L(V)} * 100 = \frac{9.25}{220} * 100 = 4.20 \% > 3.5 \%(\text{máxima})$$

En cable THW de distribución para carga N° 4 :

P_n = 50 kw

I_{operación}: 150.175 A (medido con amperímetro de tenaza)

Longitud: 63.2 m

Sección transversal: 16 mm²

$$\text{Resistencia del conductor: } R_{cd} = \rho_{Cu} * \frac{L_{cd}}{S_{cd}} = 0.0175 * \frac{63.20}{16} = 0.069 \, \Omega$$

Pérdida de potencia en conductor a motor de 50 kw:

$$P_{p-cd1} = 3R_{cd} * I_L^2 = 3 * 0.069 \, \Omega * 150.175^2 A^2 = 4668.37 \, \text{w}$$

$$\text{Potencia absorbida por conductor P4: } 1.732 * 0.8192 * 150.175 * 10^{-3} * 220 = 46878.20 \, \text{w} = 46.878 \, \text{kw}$$

$$\text{Potencia útil en conductor } P_{u-cd \, 4} = P_{abs. \, ME \, N^{\circ} \, 4} = 46.878 + 4.668 = 51.546 \, \text{kw}$$

Caída de tensión en conductor nro. 4:

$$\Delta U_{cd4}(V) = \sqrt{3} * 0.069(\Omega) * 150.175(A) = 17.947 \, V$$

Caída de tensión porcentual, en conductor:

$$\Delta U_{cd4}(\%) = \frac{\Delta U_{cd4}(V)}{U_L(V)} * 100 = \frac{17.947}{220} * 100 = 8.16 \% > 3.5 \%(\text{máxima})$$

En cable THW de distribución para carga N° 5:

P_n = 20 kw

Intensidad de operación: 54.07 A

Longitud: 48.2 m

Sección transversal: 16 mm²

$$\text{Resistencia del conductor: } R_{cd} = \rho_{Cu} * \frac{L_{cd}}{S_{cd}} = 0.0175 * \frac{48.20}{16} = 0.053 \Omega$$

Pérdida de potencia en conductor a motor de 20 kw:

$$P_{p-cd1} = 3R_{cd} * I_L^2 = 3 * 0.053 \Omega * 54.07^2 A^2 = 464.85 \text{ w} = 0.465 \text{ kw}$$

Potencia absorbida por el conductor Pabs-cd 5 = 1.732*0.8192*220*54.07 = 16877 w = 16.877 kw

Potencia útil en conductor Pu-cd 5 = Pabs. ME N° 5 = 16.877 + 0.465 = 17.342 kw

Caída de tensión en conductor nro. 5:

$$\Delta U_{cd5}(V) = \sqrt{3} * 0.053(\Omega) * 54.07(A) = 4.96 \text{ V}$$

Caída de tensión porcentual, en conductor:

$$\Delta U_{cd5}(\%) = \frac{\Delta U_{cd5}(V)}{U_L(V)} * 100 = \frac{4.96}{220} * 100 = 2.25 \% < 3.5 \%(\text{máxima})$$

En cable THW de distribución para carga N° 6:

Tipo de carga: luminaria monofásica

Pn = 1.5 kw

Intensidad de operación: 8.32 A

Longitud: 28.2 m

Sección transversal: 6 mm²

Resistividad eléctrica del cobre: 0.0175 Ω *m/mm²

Resistencia del conductor:

$$\text{Resistencia del conductor: } R_{cd} = \rho_{Cu} * \frac{L_{cd}}{S_{cd}} = 0.0175 * \frac{28.20}{6} = 0.082 \Omega$$

Pérdida de potencia en conductor a grupo de luminarias de 1.5kw:

$$P_{p-cd6} = R_{cd} * I_L^2 = 0.082 \Omega * 8.32^2 A^2 = 5.67 \text{ w}$$

Pabs-luminarias: 220 V * 0.8195*8.32 A = 1499 w = Pu-cd6

Pabs-cd6: Pabs-luminaria + Pp-cd = 1499 + 5.67 = 1504.67 w

Caída de tensión en conductor nro. 6:

$$\Delta U_{cd5}(V) = \sqrt{3} * 0.082(\Omega) * 8.32(A) = 1.182 \text{ V}$$

Caída de tensión porcentual, en conductor:

$$\Delta U_{cd6}(\%) = \frac{\Delta U_{cd6}(V)}{U_L(V)} * 100 = \frac{1.182}{220} * 100 = 0.54 \% < 3.5 \%(\text{máxima})$$

En cable THW de distribución para carga N° 7:

Tipo de carga: luminaria monofásica

Pn = 0.5 kw

Intensidad de operación: 2.77 A (medido)

Longitud: 38.2 m

Sección transversal: 6 mm²

$$\text{Resistencia del conductor: } R_{cd} = \rho_{Cu} * \frac{L_{cd}}{S_{cd}} = 0.0175 * \frac{38.20}{6} = 0.112 \Omega$$

Pérdida de potencia en conductor a grupo de luminarias de 0.5kw:

$$P_{p-cd1} = R_{cd} * I_L^2 = 0.112 \Omega * 2.77^2 A^2 = 0.86 w$$

Pabs-luminarias: 220 V * 0.8192*2.77 A = 499 w = Pu-cd7

Pabs-cond7: Pu-cd7 + Ppcond7: 499 + 0.86 = 499.86 w

Caída de tensión en conductor nro. 7:

$$\Delta U_{cd7}(V) = \sqrt{3} * 0.112(\Omega) * 2.77(A) = 0.54 V$$

Caída de tensión porcentual, en conductor:

$$\Delta U_{cd7}(\%) = \frac{\Delta U_{cd7}(V)}{U_L(V)} * 100 = \frac{0.54}{220} * 100 = 0.245 \% < 3.5 \%(\text{máxima})$$

En cable THW de distribución para carga N° 8:

Tipo de carga: luminaria monofásica

Pn = 0.2 kw

Intensidad de operación: 2.27 A (medido)

Longitud: 38.2 m

Sección transversal: 6 mm²

$$\text{Resistencia del conductor: } R_{cd} = \rho_{Cu} * \frac{L_{cd}}{S_{cd}} = 0.0175 * \frac{15}{6} = 0.04375 \Omega$$

Pérdida de potencia en conductor a grupo de luminarias de 0.5kw:

$$P_{p-cd1} = R_{cd} * I_L^2 = 0.04375 \Omega * 2.27^2 A^2 = 0.22 w$$

Pabs-luminarias: 220 V * 0.8192*2.27 A = 409 w = Pu-cd7

$$P_{abs-cond7}: P_{u-cd7} + P_{pcond7}: 409 + 0.22 = 409.32 \text{ w}$$

Caída de tensión en conductor nro. 8:

$$\Delta U_{cd7}(V) = \sqrt{3} * 0.04375(\Omega) * 2.27(A) = 0.172 \text{ V}$$

Caída de tensión porcentual, en conductor:

$$\Delta U_{cd7}(\%) = \frac{\Delta U_{cd7}(V)}{U_L(V)} * 100 = \frac{0.172}{220} * 100 = 0.078\% < 3.5 \%(máxima)$$

Total, potencia eléctrica perdida en conductores:

$$P_{el-T} = 21.165 + 108.54 + 1357.5 + 5310.8 + 652.7 + 5.67 + 0.86 + 0.22 = 7457.235 \text{ w} = 7.457 \text{ kw}$$

Tabla 10. Potencias y eficiencias de conductores trifásicos en JJK SAC.

BALANCE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CABLES TRIFÁSICOS DE DISTRIBUCIÓN SEP JJK SAC									
Denominación	U.M.	Cable de distribución							
		Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr 8
Tipo de cable trifásico		THW	THW	THW	THW	THW	THW	THW	THW
Potencia nominal del motor eléctrico	kw	5	7.5	30	50	20	1.5	0.5	0.2
Intensidad de operación de la carga	A	13.45	21.2	84	150.175	54.07	8.32	2.77	2.27
Longitud del conductor	m	36	46	57.5	63.2	48.2	28.2	38.2	15
Sección transversal del conductor	mm2	6	10	16	16	16	6	6	6
Tensión en bornes de carga	V	220	220	220	220	220	220	220	220
Resistencia del conductor	W	0.105	0.0805	0.0628	0.069	0.0527	0.0822	0.111	0.0437
Pérdida de potencia en conductor a motor	w	56.98	108.54	1,331	4,676.8	462.38	5.69	0.85	0.23
Potencia absorbida por conductor	w	4,255	6,726	27,552	51,554	17,340	1,505	500	409
Potencia útil en conductor Pu-cd	w	4,198	6,618	26,220	46,877	16,878	1,499	499	409
Rendimiento del cable	%	98.66%	98.39%	95.17%	90.93%	97.33%	99.62%	99.83%	99.94%
Caída de tensión en conductor	V	2.446	2.955	9.149	17.979	4.937	1.185	0.534	0.172
	%	1.11%	1.34%	4.16%	8.17%	2.24%	0.54%	0.24%	0.08%

Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Pérdidas de potencia en motores eléctricos

Se determina la pérdida de potencia en motores eléctricos del SEP JJK SAC para conocer la eficiencia de motores y, al final, la eficiencia del sistema. Determinando la eficiencia del motor se puede determinar el costo de operación y definir la posibilidad de renovación por motor de mayor eficiencia.

Se utilizará la siguiente ecuación, para determinar la eficiencia del motor eléctrico:

$$\eta_{ME}(\%) = \frac{\left(\frac{n_s - n_m}{(n_s - n_n) * \left(\frac{U_m}{U_L} \right)^2} \right) * P_n}{P_m} * 100$$

Ecuación que utiliza el Departamento de Energía de Estados Unidos, en su programa de promoción de eficiencia energética, se puede hallar en la siguiente dirección: www.motor.doe.gov

En la cual:

- ns: velocidad de sincronismo: 1800 rpm (motor de dos pares de polos magnéticos, f = 60 Hz)
- nm: velocidad de rotación, medida; rpm
- nn: Velocidad nominal de rotación, a plena carga, dato de placa, rpm
- Pm: Potencia absorbida por el motor, kw
- Pn: Potencia nominal del motor, kw
- Un: Voltaje nominal, V
- Um: Voltaje medido, en bornes del ME, V

En motor N° 1:

Potencia absorbida: 4.198 kw

Pn: 5 kw

ns: 1800 rpm

nm: 1774 rpm

nn: 1764 rpm

Um: 216.28 V

Un: 220 V

Rendimiento del ME Nro. 1:

$$\eta_{ME1} = \frac{\left(\frac{1800 - 1774}{(1800 - 1764) * \left(\frac{216.28}{220} \right)^2} \right) * 5}{4.198} * 100 = 89\%$$

Potencia perdida en motor 1:

$$P_{pME1} = (1 - \eta_{ME1}) * P_{abs-ME1} = (1 - 0.89) * 4.177 = 0.46 \text{ kw}$$

Con la ecuación de rendimiento presentada se determina la eficiencia para todos los motores de la planta de JJK SAC, que se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 11. *Tabla de eficiencia de motores eléctricos trifásicos.*

Eficiencias de ME trifásicos en JJK SAC. Método de deslizamiento y carga							
Denominación	Simbolo	UM	ME 1	ME2	ME3	ME4	ME5
Potencia nominal	Pn	kw	5	7.5	30	50	20
Potencia absorbida	Pi	kw	4.198	6.62	26.45	42.21	16.877
Velocidad de sincronismo	ns	rpm	1800	1800	1800	1800	1800
Velocidad nominal de rotación	nn	rpm	1764	1762	1762	1762	1762
Velocidad de operación	nm	rpm	1774	1770.81	1770.65	1772.53	1772
Tensión nominal del ME	Un	V	220	220	220	220	220
Tensión de operación del ME	U1	V	216.28	216.33	216.35	216.35	216.1
Carga del ME	C	%	74.73%	79.44%	79.86%	74.75%	76.37%
Eficiencia del ME	η	%	89.00%	90.00%	90.58%	88.54%	90.50%

Fuente: elaboración propia.

En motor N° 2:

Potencia absorbida: 6.509 w

Rendimiento: 90 % (a 85 % carga)

$$P_{pME1} = (1 - \eta_{ME1}) * P_{abs-ME1} = (1 - 0.90) * 6.509 \text{ kw} = 0.6509 \text{ kw}$$

En motor N° 3:

Potencia absorbida: 26.45 kw

Rendimiento: 90.5 % (a 75 % carga)

$$P_{pME1} = (1 - \eta_{ME1}) * P_{abs-ME1} = (1 - 0.905) * 26.45 \text{ kw} = 2.512 \text{ kw}$$

En motor N° 4:

Potencia absorbida: 42.21 kw

Rendimiento: 88.5 % (ha sido rebobinado dos veces, trabaja a 75 % carga)

$$P_{pME1} = (1 - \eta_{ME1}) * P_{abs-ME1} = (1 - 0.885) * 42.21 \text{ kw} = 4.85 \text{ kw}$$

En motor N° 5:

Potencia absorbida: 16.887 kw

Rendimiento: 90.5 % (trabaja a 85 % carga)

$$P_{pME1} = (1 - \eta_{ME1}) * P_{abs-ME1} = (1 - 0.905) * 16.887 \text{ kw} = 1.604 \text{ kw}$$

Total, pérdida de potencia en motores eléctricos:

$$P_{p-TME} = 0.46 + 0.6509 + 2.512 + 4.85 + 1.604 = 10.07 \text{ kw}$$

3.1.5. Pérdidas de potencia en luminarias eléctricas

La Planta JJK SAC tiene la siguiente distribución de luminarias:

Luminarias de vapor de sodio:

- Potencia unitaria = 500 w cada una:
- Número: 3 piezas,
- Rendimiento: 85%
- Potencia perdida: $(1-0.85)*3*500 = 225 \text{ w}$

Luminarias de vapor de mercurio – Fluorescentes de baja presión, en Planta:

- Potencia unitaria nominal. 36 w cada una,
- Número: 14 piezas,
- Rendimiento: 70%
- Potencia perdida: $(1-0.70)*14*36 = 151.20 \text{ w}$

Luminarias de vapor de mercurio – Fluorescentes de baja presión, en Oficinas:

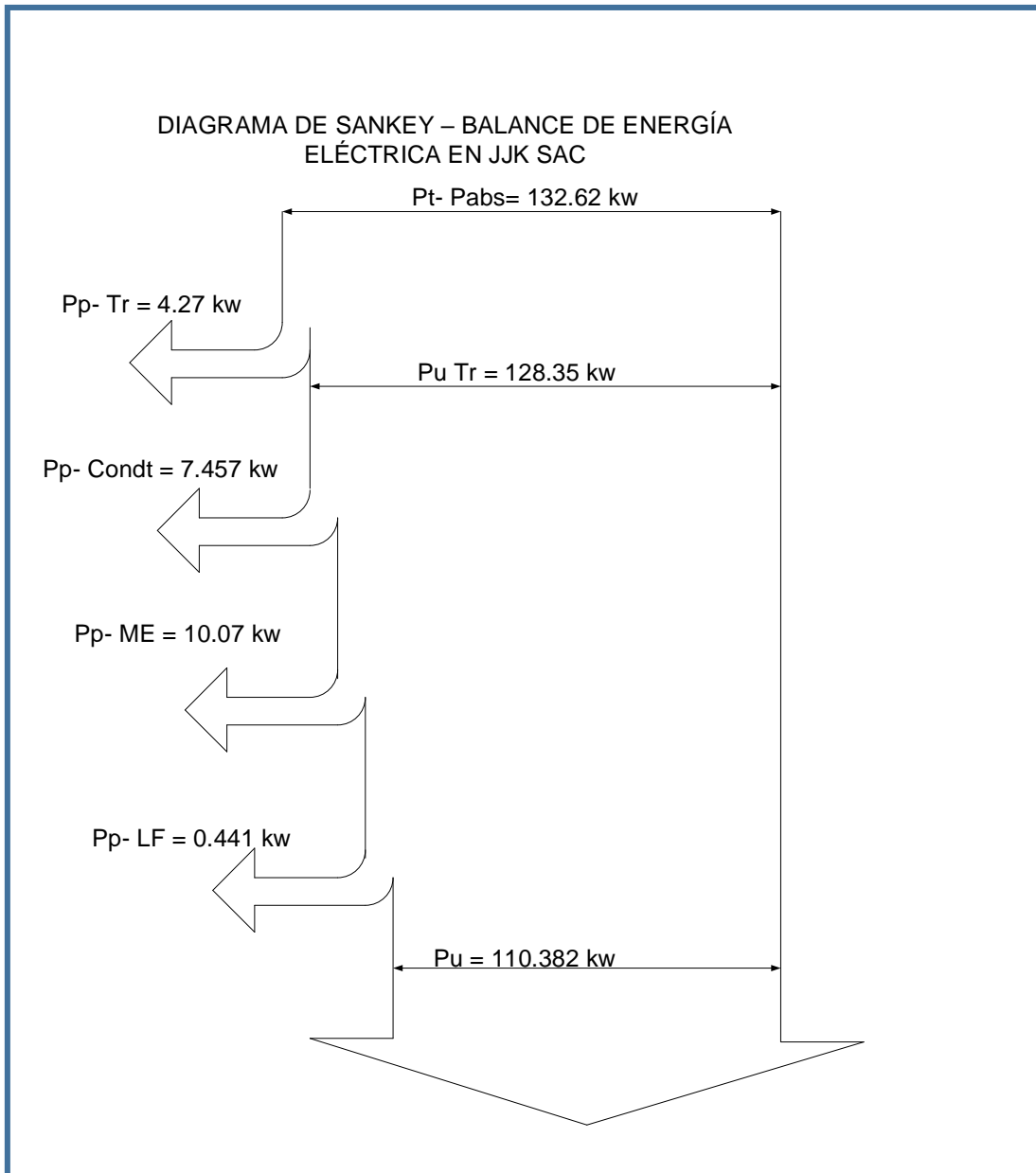
- Potencia unitaria nominal. 36 w cada una,
- Número: 6 piezas,
- Rendimiento: 70%
- Potencia perdida: $(1-0.70)*6*36 = 64.8 \text{ w}$

Total, potencia perdida en luminarias eléctricas, PPLE:

$$PPLE: 225 + 151.20 + 64.8 = 441 \text{ w} = 0.441 \text{ kw}$$

3.2. Diagrama de Sankey de distribución, transporte y uso de la energía eléctrica en Planta JJK SAC.

Figura 17. Diagrama Sankey SEP JJK SAC



Fuente: Elaboración propia

Se determina el rendimiento eléctrico de la Planta industrial JJK SAC Trujillo:

$$\eta_{SEP-JJK} = \frac{P_u}{P_{abs}} * 100 = \frac{110.382 \text{ kw}}{132.62 \text{ kw}} * 100 = 83.23 \%$$

3.3. Diseño del Plan de eficiencia energética para JJK SAC

El plan de eficiencia energética es un documento en formato texto o esquemático donde se recogen todos los datos de consumo energético de la empresa, los objetivos a

conseguir, las estrategias a implementar y la planificación a seguir.

3.3.1. Análisis

Este es uno de los puntos más importantes que aparece en el plan de eficiencia energética porque da una visión objetiva de la situación de la Planta industrial. Esto es muy útil para conocer dónde mejorar y donde mantenerse.

Es necesario estudiar los siguientes factores de la empresa:

- **Análisis de los suministros energéticos**

Identificar las diferentes fuentes de energía eléctrica que utiliza la instalación, y su correspondiente línea base o perfil de consumo. Representará el porcentaje que significa cada uno sobre el total. Esto es el balance eléctrico.

- **Análisis de los costos energéticos**

Cuantificar el costo que supone cada fuente de energía, dando como resultado un porcentaje sobre el costo total. Se recopila información de cómo se gestiona la contratación de cada suministro. Esto es el balance energético por precio de fuentes.

- **Análisis de los usos**

Recoger la distribución energética por cada una de las fuentes según su uso. Un desglose por sistemas como climatización, iluminación, sistemas informáticos, etc. Es aconsejable que los desgloses no sean muy grandes, máximo 5 o 6, ya de esta manera se realiza un análisis más fácil y entendedor. Se tendrá diferentes desgloses por usos antes que recogerlos en uno solo (sistemas, iluminación por planta, climatización por planta, zonas de la empresa, etc).

Análisis del proceso de producción

- Tomar los principales procesos de producción, de mayor a menor y analizar su uso energético e identificar los principales equipos consumidores de energía.
- Se recogerá los tipos de instalación, tipos de equipos, tipo de consumo, demanda mensual, consumos por horas, etc.

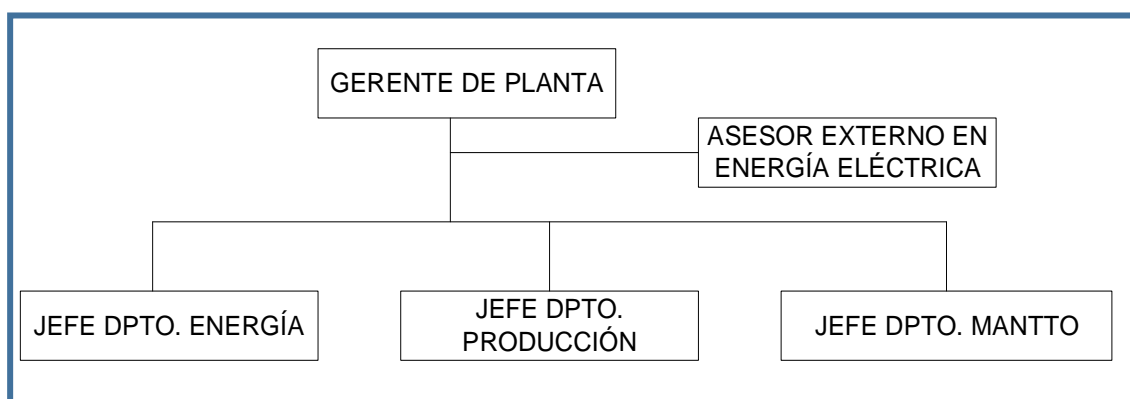
- Se caracterizará el consumo energético de los procesos, identificar los usos de energía y en un futuro poder establecer los EnPIs (Energy Performance Indicators) son indicadores que sirven para medir, evaluar y controlar aspectos relevantes de la instalación, los cuales pueden afectar a la consecución de los objetivos apropiados para hacer el seguimiento del plan de eficiencia energética.

3.3.2. Objetivos

- Aumentar el factor de potencia hasta 0.99 en 3 meses
- Aumentar el rendimiento del SEP en 2 o 3% en relación al actual, en un periodo de 6 meses
- Reducir el pago por consumo eléctrico en un 10 % en relación al actual en un periodo de 6 meses

Se nombrará un equipo responsable de eficiencia eléctrica

Figura 18. Organigrama de equipo de eficiencia energética



Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Acciones

Las acciones están en concordancia con la obtención de los objetivos trazados:

- **Acciones para aumentar el factor de potencia hasta 0.99 en 3 meses**
Se deberá instalar un banco de condensadores, automático con las siguientes características:
Factor de potencia actual: 0.8192
Angulo de desfase intensidad tensión actual: 35°

Factor de potencia proyectado: 0.99

Angulo de desfase intensidad tensión proyectado: 8.11°

Potencia activa en bornes del transformador: 128.35 kw

Potencia del banco de condensadores:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P * (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$
$$Q_c = 128.35 * (\tan 35 - \tan 8.11) = 71.58 \text{ Kvar}$$

Se redondea la potencia del banco de condensadores a 72 kvar

Se elige un grupo de 6 condensadores trifásicos de 12 Kvar cada uno

$U_n = 220 \text{ V}$

$F = 60 \text{ Hz}$

Capacidad de fase de cada capacitor:

$$C = \frac{4000}{2\pi * 60 * 220^2} = 2.19 * 10^{-4} \text{ F} = 0.219 \text{ mF}$$

Acciones para aumentar el rendimiento del SEP en 2% en relación al actual en un periodo de 6 meses

- a. **Se plantea cambiar el motor eléctrico N° 4, de 50 kw, estándar, por uno del tipo Premium, en que se tendrá:**

Rendimiento proyectado: 93.5%

$P_{u- ME1} = 42.21 - 4.85 = 37.36 \text{ kw}$

Potencia absorbida proyectada: $37.36/0.935 = 39.96 \text{ kw}$

Potencia perdida proyectada en motor nuevo:

$P_{pME1} = (1 - \eta_{ME1}) * P_{abs-ME1} = (1 - 0.935) * 37.36 \text{ kw} = 2.43 \text{ kw}$

Potencia perdida en motor antiguo: 4.85 kw

Reducción de la potencia perdida por cambio del motor eléctrico N° 4:

$$\Delta P_p = 4.85 - 2.43 = 2.42 \text{ kw}$$

b. Cambio del conductor trifásico THW de distribución para carga N° 4 :

$P_n = 50 \text{ kw}$

Factor de potencia nuevo: 0.99

Intensidad de operación nueva, del motor premium:

$$I_{2-oper} = \frac{39,960 \text{ w}}{\sqrt{3} * 220 * 0.99} = 105.93 \text{ A}$$

Longitud del conductor: 63.2 m

Sección transversal del conductor nuevo: 25 mm²

$$\begin{aligned} \text{Resistencia conductor nuevo: } R_{cd} &= \rho_{Cu} * \frac{L_{cd}}{S_{cd}} = 0.0175 * \frac{63.20}{25} \\ &= 0.0442 \Omega \end{aligned}$$

Pérdida de potencia en conductor a motor de 50 kw:

$$\begin{aligned} P_{p-cd1} &= 3R_{cd} * I_L^2 = 3 * 0.0442 \Omega * 105.93^2 \text{ A}^2 = 1488 \text{ w} \\ &= 1.488 \text{ kw} \end{aligned}$$

Potencia absorbida por conductor nuevo:

$$P_{abs-cd 4} = 1.488 + 39.96 = 41.448 \text{ kw}$$

c. Instalación de banco de condensadores automático, de 72 kvar, se obtendrá un rendimiento del transformador y reducción de pérdidas en motores y en conductores eléctricos

Reducción de pérdidas en conductores:

En motor N° 1:

Potencia absorbida actual: 4177.225 w

Intensidad de corriente proyectada:

$$I_1 = \frac{4177.25 \text{ w}}{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 0.99} = 11 \text{ A}$$

Pérdida de potencia en conductor N° 1, proyectada:

$$P_{p-cd1} = 3 * R_{cd} * I_L^2 = 3 * 0.039 \Omega * 11^2 A^2 = 14.157 \text{ w}$$

Reducción de pérdida de potencia en conductor N° 1 por aumento del cos φ :

$$\Delta P_{cd1} = 21.16 - 14.157 = 7 \text{ w}$$

En cable THW de distribución para carga N° 2 :

Pabs por ME2: $6617.73 - 108.54 = 6509.20 \text{ w}$

Intensidad de corriente proyectada:

$$I_1 = \frac{6509.20 \text{ w}}{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 0.99} = 17.25 \text{ A}$$

Pérdida de potencia en conductor a motor de 7.5 kw:

$$P_{p-cd1} = 3R_{cd} * I_L^2 = 3 * 0.0805 \Omega * 17.25^2 A^2 = 71.86 \text{ w}$$

Reducción de pérdida de potencia en conductor N° 2 por aumento del factor de potencia:

$$\Delta P_{cd2} = 108.54 - 71.86 = 36.68 \text{ w}$$

En cable THW de distribución para carga N° 3:

Potencia perdida actual en conductor: 1.3575 kw

Potencia absorbida por motor eléctrico N° 3: 26.45kw

Intensidad de corriente proyectada:

$$I_1 = \frac{26450 \text{ w}}{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 0.99} = 70.13 \text{ A}$$

Pérdida de potencia proyectada en conductor a motor de 30 kw:

$$\begin{aligned} P_{p-cd1} &= 3R_{cd} * I_L^2 = 3 * 0.0805 \Omega * 70.13^2 A^2 = 1187.75 \text{ w} \\ &= 1.187 \text{ kw} \end{aligned}$$

Reducción de pérdida de potencia en conductor N° 3 por aumento del cos φ :

$$\Delta P_{cd2} = 1.3575 - 1.187 = 0.1705 \text{ kw}$$

En cable THW de distribución para carga N° 4 :

Reducción de la potencia perdida por cambio del motor eléctrico N° 4:

$$\Delta P_p = 4.85 - 2.43 = 2.42 \text{ kw}$$

En cable THW de distribución para carga N° 5:

Pérdida de potencia en conductor a motor de 20 kw:

$$P_{p-cd1} = 3R_{cd} * I_L^2 = 3 * 0.053 \Omega * 54.07^2 A^2 = 464.85 \text{ w} = 0.465 \text{ kw}$$

Potencia absorbida por ME N° 5: $16.877 - 0.465 = 16.412 \text{ kw}$

Intensidad de corriente proyectada:

$$I_1 = \frac{16412 \text{ w}}{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 0.99} = 43.505 \text{ A}$$

Pérdida de potencia proyectada en conductor a motor de 30 kw:

$$P_{p-cd1} = 3R_{cd} * I_L^2 = 3 * 0.053 \Omega * 43.505^2 A^2 = 300.94 \text{ w} = 0.30 \text{ kw}$$

Reducción de pérdida de potencia en conductor N° 5 por aumento del cos φ :

$$\Delta P_{cd2} = 0.465 - 0.3 = 0.165 \text{ kw}$$

Total, reducción de pérdida de potencia en conductores alimentadores de motores:

$$\Delta P_{P-T \text{ Cond}} = 0.007 + 0.0367 + 0.1705 + 2.42 + 0.165 = 2.8 \text{ kw}$$

Reducción de pérdida de potencia en transformador

Debido a la instalación del banco de condensadores se tendrá un factor de potencia de 0.99, lo que redundará en intensidad de corriente menor que la actual

Intensidad de operación nueva: $11 + 17.25 + 70.13 + 105.93 + 43.505 = 247.815 \text{ A}$

Intensidad nominal del transformador de 200 KVA, $U_2 = 220 \text{ V}$: 524.86

Índice de carga con nuevo factor de potencia:

$$\alpha_{Tr} = \frac{I_{2-op}}{I_{2n}} = \frac{247.815}{524.86} = 0.472$$

Se calcula el rendimiento nuevo del transformador:

$$\eta_{Tr} = \frac{S_n * \alpha_c * \cos \varphi}{S_n * \alpha_c * \cos \varphi + P_{p-Fe} + \alpha_c^2 * P_{n-Cu}} * 100$$

Reemplazando y calculando:

$$\eta_{Tr} = \frac{200 * 0.472 * 0.99}{200 * 0.472 * 0.99 + 1.65 + 0.472^2 * 4.25} * 100 = 97.29 \%$$

Se observa que existirá un aumento del rendimiento del transformador por aumento del factor de potencia, de:

$$\Delta \eta_{Tr} = 97.29 - 96.78 = 0.51 \%$$

Entonces, la potencia absorbida por el transformador, de la red, es:

$$P_{abs-Tr} = \frac{P_{u-Tr}}{\eta_{Tr}} = \frac{93.456 \text{ kw}}{0.9729} = 96.06 \text{ kw}$$

Pérdida de potencia activa en transformador:

$$P_{P-Tr} = P_{abs-Tr} - P_{u-Tr}$$

$$P_{P-Tr} = 96.06 - 93.456 = 2.6 \text{ kw}$$

Reducción de potencia activa, por aumento del factor de potencia:

$$132.62 - 96.06 = 36.56 \text{ kw}$$

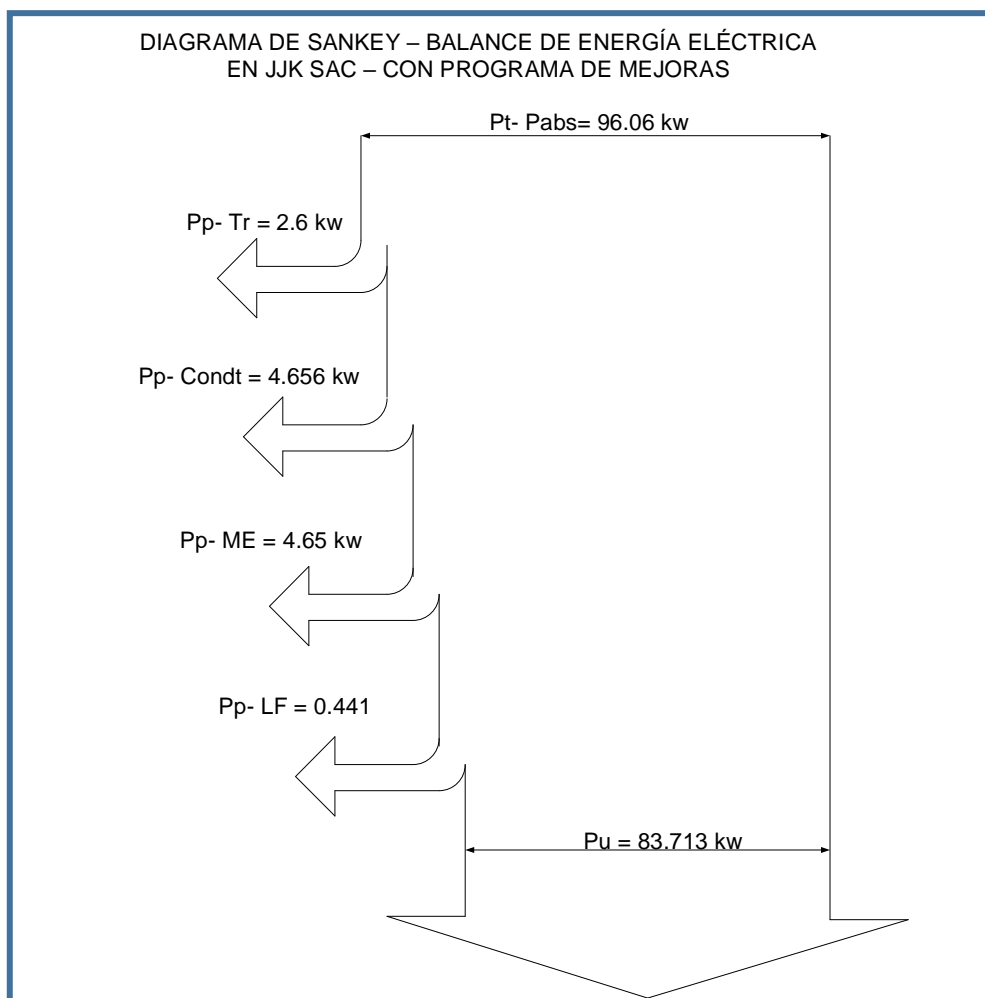
3.3.4. Revisión

- Se revisará mensualmente el plan desarrollado y sus resultados a medida que se ejecuta.

- En función de la revisión se hará un balance de la situación y se comprueba si se definieron objetivos realistas y replantear acciones en caso de ser necesario.
- Este punto el plan de eficiencia energética, será revisado mensualmente, para no desviarse de los objetivos y no cometer errores que más tarde no puedan revertirse.

3.4. Analizar el sistema eléctrico con mejoras

Figura 19. Diagrama Sankey de SEP JJK SAC con Plan de Mejoras



Fuente: Elaboración propia

Rendimiento eléctrico proyectado con Plan de Mejoras de la Planta industrial JJK SAC Trujillo:

$$\eta_{SEP-JJK} = \frac{83.713}{96.06} * 100 = 87.14 \%$$

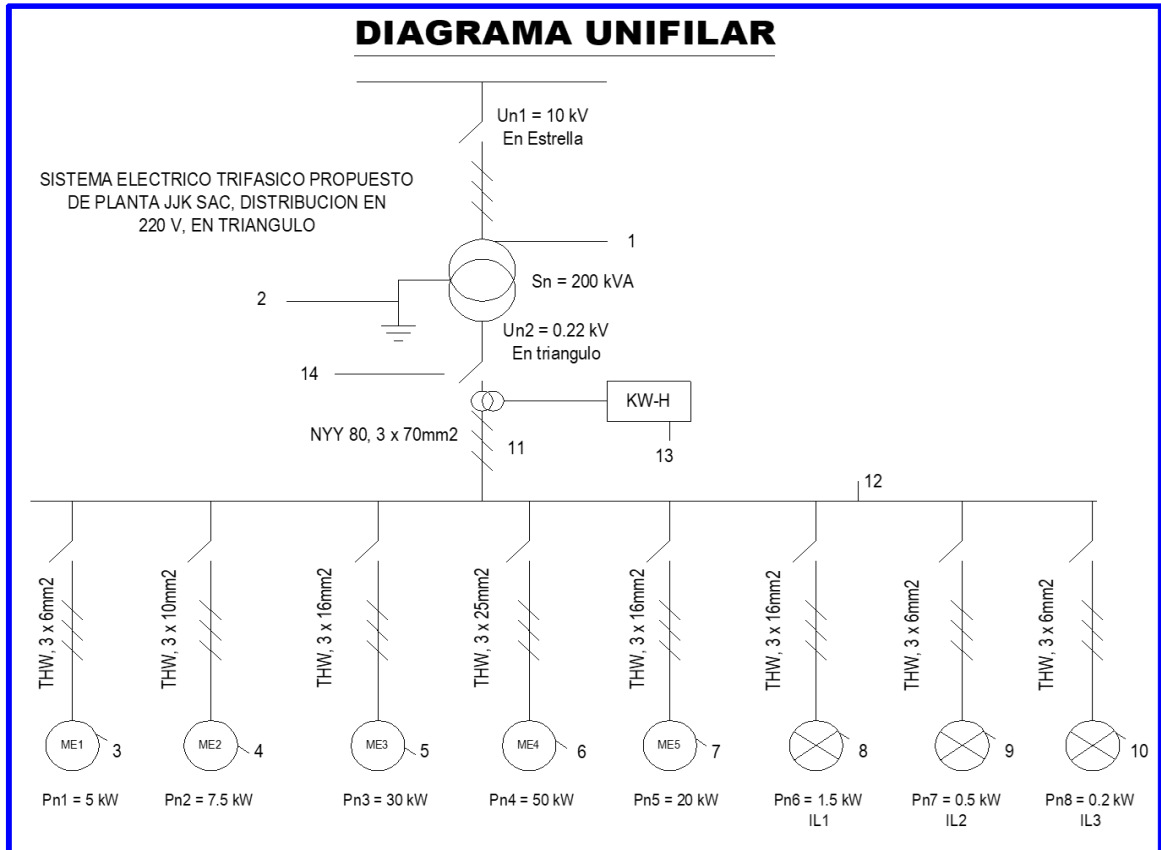
Cálculo del aumento de rendimiento por mejoras en Planta JJK SAC:

$$\Delta\eta_{SEP-JJK\ SAC} = 87.14 - 83.23 = 3.91 \%$$

Sí se cumpliría el objetivo de aumentar eficiencia eléctrica de SEP JJK SAC

3.5. Diagrama Unifilar considerando el cambio de sección del cable y nuevo motor Premium de 50 kw.

Figura 20. Diagrama Unifilar Nuevo



Fuente: Elaboración propia

3.6. Análisis económico

Inversiones:

Sistema de compensación del factor de potencia trifásico, con banco de condensadores automático, 70 kvar, 220 V:	15,200 soles
Cable THW, 3 x 225 mm ² , 63 m	1,440 soles
Analizador de potencia trifásico	3,700 soles
Motor eléctrico trifásico, 220 V, Premium, 60 Hz, 1740 rpm, 50 kw	27,500 soles
Capacitación en electricidad industrial	3,500 soles

Herramientas eléctricas	3,000 soles
Mano de obra:	5,000 soles
Ferretería eléctrica	3,500 soles
Gastos generales:	2,000 soles
Total inversiones:	64,840 soles

Beneficios a ser obtenidos:

- Eliminación del pago por energía reactiva: 24,596.83 soles/año (ver Tabla 9 de consumo y pago de Energía Eléctrica)
- Reducción del pago por energía activa:
 Tiempo de operación anual: 468 h/mes*12 meses/año = 5616 h/año
 Costo unitario de EE activa: 0.235 soles/kw-h
 Potencia a ahorrar: 132.6 – 96.06 = 36.54 kw

Beneficio económico por reducción de consumo de Energía Eléctrica activa,
 $B_{\Delta EEP}$:

$$B_{\Delta EEP} = 36.54 \text{ kw} * 5,616 \frac{\text{h}}{\text{año}} * 0.235 \frac{\text{soles}}{\text{kw} - \text{h}} = 48,224 \text{ soles/año}$$

Beneficio económico anual total: 24,596.83 + 48,224 = 72,820.83 soles/año

Tiempo estimado de retorno de la inversión:

$$TRI = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio económico}} = \frac{64,840 \text{ soles}}{72,820.83 \frac{\text{soles}}{\text{año}}} = 0.89 \text{ años} = 10.7 \text{ meses}$$

Es atractivo el proyecto de mejora del SEP JJK SAC

Reducción del pago anual por energía eléctrica, con la implementación del Plan de mejora eléctrica:

Pago anual actual: 170,526 soles/año

Reducción del pago anual: 72,820.83 soles/año

Reducción porcentual del pago de energía eléctrica anual:

$$\Delta P_{ago_{anual EE}} = \frac{72,820.83 \frac{\text{soles}}{\text{año}}}{170,526 \frac{\text{soles}}{\text{año}}} = 42.70 \%$$

Se observa que se sobrepasa el objetivo de reducción del pago de energía eléctrica trazado, que es de 15 % anual

IV. IV. DISCUSIÓN

- El SEP de JJK SAC tiene un factor de potencia de 0.8192, debido a que la potencia activa es un poco baja en relación a la potencia aparente, por lo que la empresa paga más de 24,596 soles/año, por consumo de energía reactiva, la intensidad de corriente aumenta en 12.75 %, y causa un importante incremento en pérdidas en conductores. Se opta por instalar un banco automático de condensadores, para obtener factor de potencia > 0.96 , y reducir directamente las pérdidas en conductores en un 12.5%
- Se determinó que el rendimiento eléctrico del SEP de la empresa JJK SAC es de 83.23%, debido a las pérdidas en conductores y equipos de utilización de la energía eléctrica, la principal pérdida de potencia es en el motor eléctrico de 50 kw, por su antigüedad y ha sido rebobinado ya dos veces, en talleres casi artesanales, se pudo observar que tiene un deslizamiento alto: alcanza el 2.75 a 3 % cuando alcanza mayor carga, es decir, tiene problemas para desarrollar la potencia, opera a un 70 % de potencia, en promedio, la velocidad nominal es de 1760 rpm a plena carga, alcanzando solamente 1751 rpm, a carga normal. Se concluye que las pérdidas internas en el motor son importantes debido a la poca precisión de rebobinado, la temperatura del motor alcanza valores de 55 a 56 °C, siendo la misma, en los demás motores de solamente 40 a 45 °C. Solamente en este motor, de 50 kw, se pierde 4.85 kw.
- En conductores eléctricos, la pérdida de potencia actual alcanza el valor de 7.457 kw, representando un 5.6 % del total de potencia activa absorbida, los rendimientos de los conductores no son elevados, los principales factores son la resistencia óhmica y la intensidad de corriente que circula por el conductor
En conductor nro. 1: $4,177.23/4,198.37 = 99.49 \% > 98.5$ muy buen rendimiento
En conductor nro. 2: $6,509.20/6,617.73 = 98.36 \% \sim 98.5$ aceptable...a bueno
En conductor nro. 3: $25.09/26.45 = 94.86 \% < 98.5$ % bajo rendimiento
En conductor nro. 4: $42,210/46,878 = 90.04 \% < 98.5$ % bajo rendimiento
En conductor nro. 5: $16,412/16,877 = 97.24 \% < 98.5$ regular rendimiento
En conductor nro. 6: $1,493.79/1,499.46 = 99.62 \% > 98.5$ muy buen rendimiento
En conductor nro. 7: $498.36/499.22 = 99.83 \% > 98.5$ muy buen rendimiento

- Las pérdidas en luminarias ascienden a 0.441 kw debido a que la eficiencia de las luminarias de vapor de sodio es de solamente 75%, se opta por el cambio a luminarias LED, con rendimiento superior a 90% y elevado factor de potencia, superior a 0.95.
- Al realizar la implementación de las mejoras se debe obtener un rendimiento eléctrico del SEP de JJK SAC del orden de 87.14 %, principalmente por cambio del motor de 50 kw, de los conductores nro. 4 por conductores de mayor diámetro, del mismo tipo, THW, por la instalación del banco de condensadores. El aumento del rendimiento se dará por reducción en la intensidad de corriente y reducción de la energía reactiva absorbida de la red, debido a la instalación de bancos de condensadores.
- El monto de facturación mensual, sin IGV; soles/mes: 14,210.44, debido a baja eficiencia, <90%, factor de potencia bastante bajo < 0.95 y porque JJK SAC está calificado como cliente presente en horas punta. Para reducir la facturación se debe salir de calificación de cliente presente en hora punta y aumentar eficiencia del sistema
- El transformador trifásico del SEP de JJK SAC opera a 78.34 %, de carga, absorbe potencia de 132.62 kw, con eficiencia de 96.78 %, la cual es baja, debiendo ser >97.5 %. El rendimiento bajo del transformador es que opera a una carga > 50 % de su capacidad, el factor de potencia es bajo, < 0.96, las pérdidas en el cobre aumentan, debido al aumento de la carga. Este problema se corrige con la implementación de las mejoras señaladas.
- Se realizó el análisis económico por implementar el Plan de Mejoras en JJK SAC:
Se debe invertir 64,840 soles en activos fijos y mano de obra para obtener un beneficio económico de 72,820.83 soles/año, es decir, para una vida útil de 10 años, por cada sol de inversión se tiene 11.23 soles y se tendría un tiempo de retorno de la inversión de 10.7 meses.

V. CONCLUSIONES

- Se realizó una auditoría al sistema eléctrico de potencia de JJK SAC, según normas eléctricas peruanas

El SEP de JJK SAC no tiene un sistema de medición de parámetros eléctricos

JJK SAC no cuenta con un sistema de compensación del factor de potencia,

JJK SAC no tiene analizadores de calidad de energía,

JJK SAC no dispone de un sistema de respaldo de energía, para cortes inesperados del suministro eléctrico.

- Con los datos de las facturas de electricidad de JJK SAC se determinan los valores promedio de:

Potencia activa en horas punta, kw/mes: 135.25

Potencia activa en horas fuera de punta, kw/mes: 125.71

Energía activa promedio en horas punta, kw-h/mes: 17,582.50

Energía activa promedio en horas fuera de punta, kw-h/mes: 42,488.85

Energía reactiva, kvar-h/mes: 42,049.95

Facturación mensual, sin IGV; soles/mes: 14,210.44

Energía activa total: $17582.5 + 42488.85 = 60,071.35$ kw.h/mes

Energía aparente promedio, kva-h/mes: $73326.43 \frac{\text{KVA}}{\text{mes}}$

Factor de potencia promedio: 0.8192

Ángulo de desfase intensidad tensión en la energía eléctrica: 35°

- Se concluye que el factor de potencia es muy bajo.

Análisis del sistema de transformación:

Carga promedio: 78.34 %

Potencia absorbida por transformador: 132.62 kw

Rendimiento promedio en operación: 96.78 %

Se realizó el análisis en conductores trifásicos en BT:

La potencia total absorbida por los conductores es de 110,246 w, la potencia total perdida por efecto Joule, 7,457.24 w y la potencia útil total de conductores, de 103,198 w, siendo el rendimiento promedio de los conductores de 92.03% lo que se interpreta como bajo,

pues en la industria se trabaja con rendimientos igual o mayores a 98 %.

Balance de potencia en motores eléctricos

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 12. *Tabla de potencia y rendimiento de motores eléctricos.*

Denominación	UM	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5
Potencia absorbida	Kw	4.17	6.509	26.45	42.21	16.887
Rendimiento	%	0.8	0.9	0.905	0.885	0.905
Potencia perdida	Kw	0.46	0.6509	2.512	4.85	1.604
Potencia útil	Kw	3.71	5.8581	23.938	37.36	15.283

Fuente: elaboración propia.

Total, pérdida de potencia en motores eléctricos: 10.07 kw

En iluminación de Planta:

- Potencia en luminarias: 2.22 kw
- Potencia pérdida: 0.441 kw

Eficiencia eléctrica actual del SEP en JJK SAC: 83.23 %

Potencia pérdida total: 22.24 kw

Potencia útil: 110.38 kw

Diseño del Plan de eficiencia energética para JJK SAC

Se preparó el plan de eficiencia eléctrica para el SEP de JJK SAC, el cual comprende:

Análisis: Para tener una visión general y particular del sistema

Objetivos: Estimar los valores de las metas a ser alcanzadas: Aumento de eficiencia en 2 %, reducción de pago por facturación eléctrica en 15% del actual, aumentar el factor de potencia hasta 0.99

Acciones: Medidas a implementar en un lapso de tiempo: instalación de banco de condensadores, cambio de motor de eficiencia estándar por uno de alta eficiencia

Revisión: aplicar auditorías permanentes para retroalimentar y sostener resultados

Analizar el sistema eléctrico con mejoras

Se analizó el SEP con la implementación del Plan de mejoras en JJK SAC

Potencia absorbida: 96.06 kw

Potencia pérdida total: 12.346 kw

Potencia útil: 83.713 kw

Eficiencia proyectada: 87.14 %

Se concluye que sí se cumpliría el objetivo de aumentar eficiencia eléctrica de SEP JJK SAC, en 3.91 %

Análisis económico

Se hizo el análisis económico por la implementación del Plan de Mejoras en JJK SAC:

Inversiones:

64,840 soles

Beneficios a ser obtenidos: 72,820.83 soles/año

Tiempo estimado de retorno de la inversión: 10.7 meses

Se concluye que es atractivo el proyecto de mejora del SEP JJK SAC, pues habría una reducción porcentual del pago de energía eléctrica anual del 42.70 %

VI. VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la empresa JJK SAC contrate un profesional en electricidad, para que implemente el plan de mejora de la energía eléctrica, así como pueda implementar adecuados planes de mantenimiento preventivo de los equipos eléctricos.
- Se recomienda que JJK SAC instale analizadores de redes eléctricas trifásicas, e implemente auditorías internas con frecuencia mensual/bimensual, en base a formatos establecidos para tal fin
- Se recomienda que JJK SAC contrate los servicios de una empresa especializada y realice una auditoría de calidad de energía, para determinar la presencia de armónicos en tensión y en corriente y, en función de los resultados, dimensionar y seleccionar los filtros necesarios.
- Es importante que JJK SAC actualice los diagramas unifilares al detalle, pues están incompletos y también los proyectados.
- Se recomienda hacer un estudio de protección eléctrica en la subestación de transformación, revisando las conexiones a tierra de los equipos así como se dimensiona las conexiones a tierra de las masas de los equipos eléctricos.
- En caso se incremente la Máxima Demanda mensual en más de 250 KW, se recomienda consultar con una empresa proveedora de energía eléctrica, competencia de Hidrandina, para consultar la factibilidad técnica y económica de cambiar de empresa distribuidora de energía, es decir por los nuevos costos de potencia y energía, y definir la conveniencia del cambio, para aumentar el beneficio económico.
- Se recomienda que en JJK SAC se implemente un plan de gestión de la hora punta, con el fin de reducir la potencia en horas punta, aplicando medidas operativas como arrancar los motores solamente en horas fuera de punta y de implementar sistemas de arranque con soft starter o tecnologías similares.

- Se recomienda realizar un estudio de investigación sobre la factibilidad de utilizar energía renovable, como fotovoltaica y eólica para generar electricidad en baja tensión, trifásica: e inyectarla en el SEP de JJK SAC para reducir más la facturación.
- De requerirse el cambio del motor N° 1 de 5 kw por uno de mayor potencia para la caldera de vapor, se podría adicionar considerando que se tiene una potencia instalada disponible de 200 kva, siendo que se tiene una potencia absorbida por el transformador de la red de solo 96.06 kw.

VII. VII. REFERENCIAS

- BONNETT, Austin. Quality and Reliability of Energy-Efficient Motors. IEEE Industry Applications Magazine. January/February. USA. 1997
- CORTES Cherta, M. Técnicos Asociados, S.A. Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas. Tomo IV. Máquinas síncronas y motores C.A. de colector. Editores Técnicos Asociados. 1º Edición. 3º Impresión 2010; 448 páginas. ISBN: 8471460890 ISBN-13: 9788471460899
- CORTES Cherta M. Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas. Tomo I. La máquina eléctrica en general. Editores Técnicos Asociados. Barcelona. Editorial Reverté 2008.240 páginas. ISBN 10: 8471460211
- CORTES Cherta, M. Curso moderno de máquinas eléctricas rotativa. Tomo II. Máquinas de corriente continua. Editores Técnicos Asociados. Barcelona. Editorial Reverté (02/09/2008).280 páginas. ISBN: 9788429192155
- CORTES Cherta M. Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas. Tomo IV. Máquinas síncronas y motores C.A. de colector. Editores Técnicos Asociados. Barcelona. 1977.421 paginas.
- CORTES Cherta M. Curso Moderno de Máquinas Eléctricas Rotativas. Tomo III. Máquinas de Corriente Alterna Asíncronas. Editores Técnicos Asociados. Barcelona. 1974. ISBN 84-7146-136-6, 149 paginas.
- F ERNANDEZ Herrero, Piedad. Cómo realizar una auditoría energética. Madrid. 2011. Editorial Fundación Confemetal, ISBN 9788492735938.
- FRAILE Mora, J. Maquinas Eléctricas. Quinta Edición. Editorial McGraw-Hill. 2003. ISBN 84-481-3913-5, 757 paginas.
- Fluke. Soluciones de eficiencia energética. Consultado en:
<http://www.fluke.com/fluke/pees/soluciones/eficiencia-energetica/default.htm>

- GARCIA Sánchez, Juan Manuel. Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora. Editorial: Asociación Española de Normalización y Certificación- AENOR, 2012. ISBN: 978-84-8143-752-2; 215 paginas.
- KRENNZ, Jerrold H. Uso racional de la energía: El gran desafío contemporáneo. 1985. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Aragón. 1era edición. ISBN: 9509098051; 287 paginas.
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. Código nacional de electricidad (Suministro 2011). Consultado en : <http://www.osinergmin.gob.pe/>. Enlace Web: Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011) (PDF).
- NEMA Standars Publication MG1.(1997). Motors and Generators. National Electrical Manufacturers Association, Washinton DC, USA. 1997.
- Osinergmin, Organismo supervisor de la inversión en electricidad. Consultado en: <http://www.osinergmin.gob.pe/>
- RAMIREZ Marrero, Secundino y GONZALES Paluau, Iliana Gonzáles. La Gestión Energética. Una Herramienta Indispensable en la Gestión Empresarial, 2006. Folletos Gerenciales. Sevilla. España: Academic Search.
- RAS Oliva, Enrique. Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección. 7º Edición. Editorial Marcombo. Barcelona. 1994, ISBN 84-267-0690-8; 283 paginas.
- SANJURJO Navarro, Rafael. Maquinas Eléctricas. Editorial Mc-Graw Hill/Interamericana de España. 1989.ISBN 9788476153253, 352 paginas.
- SINCHE Lujan, Juan y URBINA Polo, José. Diseño y Propuesta de un Plan de Gestión para mejora de la eficiencia energética eléctrica en la empresa avícola Yugoslavia SAC. Trujillo. Perú. Tesis. 2011.
- Siemens España, Auditorías energética. Consultado en: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/ic/eficienergt/pages/auditorias-energeticas.aspx>

ANEXOS

Anexo 1: Características de motores eléctricos

Fully sealed external fan type induction motors

Three phase 60Hz or 50Hz ,220/380, horizontal or vertical standard motors for hydraulic

The spec. are based on CNS3071, C1036, the performance comply with IEC34-1/EN6034,CNS2934.

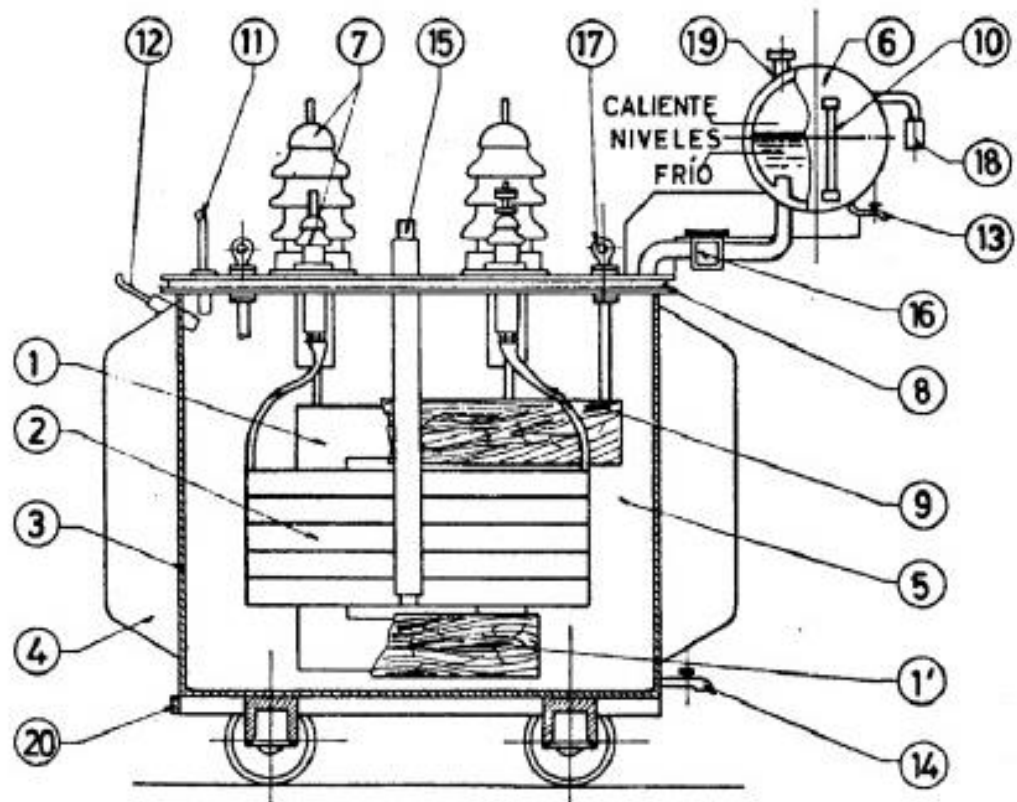
200V4PΦ60Hz

output power		speed(full load)	Frame Size	Insulation Class	Performance with full load				lifting characteristic		biggest torque Kg-cm
HP	Kw	r/min			torque Kg-cm	efficiency %	factor %	current A	torque ratio	current A	
1	0.75	1412	80	E	51	71.8	76	2.1	2.2	8.9	139
2	1.5	1421	90L	E	102	81.3	79	3.6	2.2	18.2	245
3	2.2	1436	100L	E	153.6	80.5	77.2	5.5	2.0	29.2	334
5	3.7	1443	112M	E	254	87.1	79.7	8.3	1.8	47.5	540
7 ½	5.5	1455	132S	B	378	88.4	80.3	12.2	1.9	72.3	810
10	7.5	1466	132M	B	511.5	89.7	79.6	16.7	2.0	109.4	1037
15	11	1461	160M	B	756.7	88.4	80.6	24.2	1.6	167.3	1562
20	15	1460	160L	B	1020	88.5	80	29	2.2	212.	2346
25	18.5	1465	180MC	F	1275	91	85.5	37.5	2.4	260	2996
30	22	1465	180ML	F	1530	91.5	88.0	41.7	2.45	318	3596
40	30	1460	180ML	F	2040	92	88.0	56	2.3	358	4488

Anexo 2: Características de luminarias

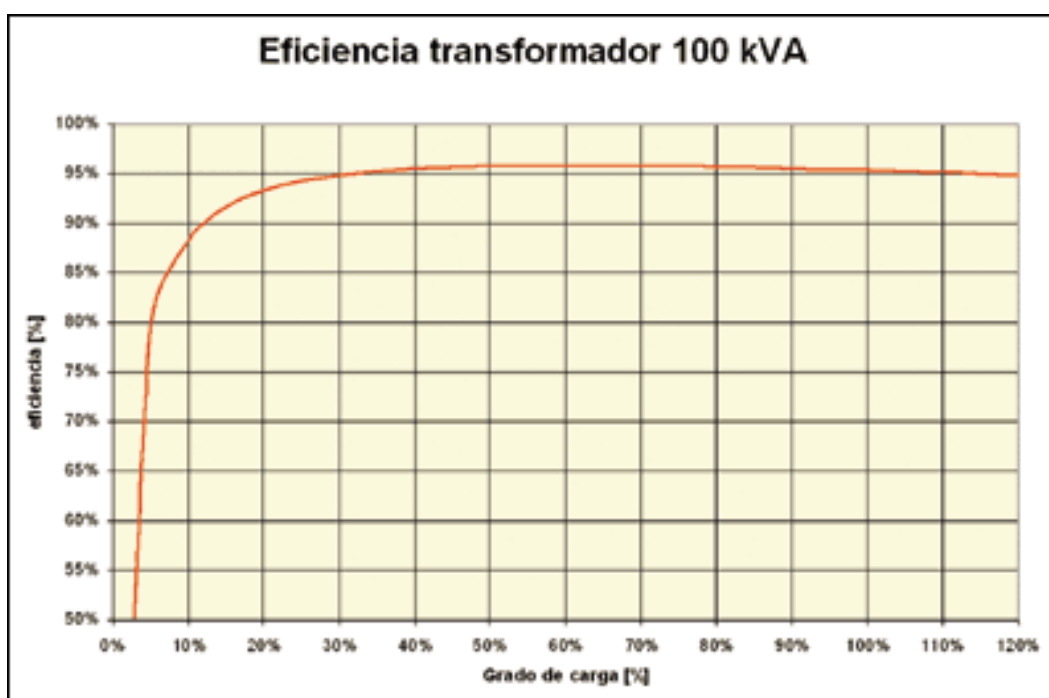
LAMPARA INCANDESCENTE	LAMPARA HALOGENA	FLUORESCENCIA COMPACTA	LED MR16 / AR111
1.000 horas	3.000 horas	10.000 horas	30.000 horas
			
15W / 100 lm	10W / 140 lm	3W / 150 lm	1W / 75 lm*
60W / 710 lm	35W / 600 lm	12W / 650 lm	7W / 750 lm*
75W / 1100 lm	50W / 910 lm	18W / 1150 lm	10W / 1100 lm*
100W / 1600 lm	75W / 1450 lm	23W / 1600 lm	15W / 1400 lm*

Anexo 3: Transformador en baño de aceite



- | | | | |
|-----|----------------------|-----|--------------------------------------|
| 1: | Núcleo | 2: | Devanados |
| 3: | Cuba o tanque | 4: | Aletas de refrigeración |
| 5: | Aceite | 6: | Depósito de expansión |
| 7: | Aisladores pasantes | 8: | Junta |
| 9: | Conexiones | 10: | Nivel de aceite |
| 11: | Termómetro | 12: | Termómetro |
| 13: | Grifo de vaciado | 14: | Grifo de vaciado y toma de muestras. |
| 15: | Conmutador de tomas | 16: | Relé Buchholz |
| 17: | Anillas de elevación | 18: | Desecador de aire |
| 19: | Tapón de llenado | 20: | Puesta a tierra |

Anexo 4: Variación de eficiencia del transformador en función de carga



Anexo 5: Potencias de capacitores para compensar el factor de potencia

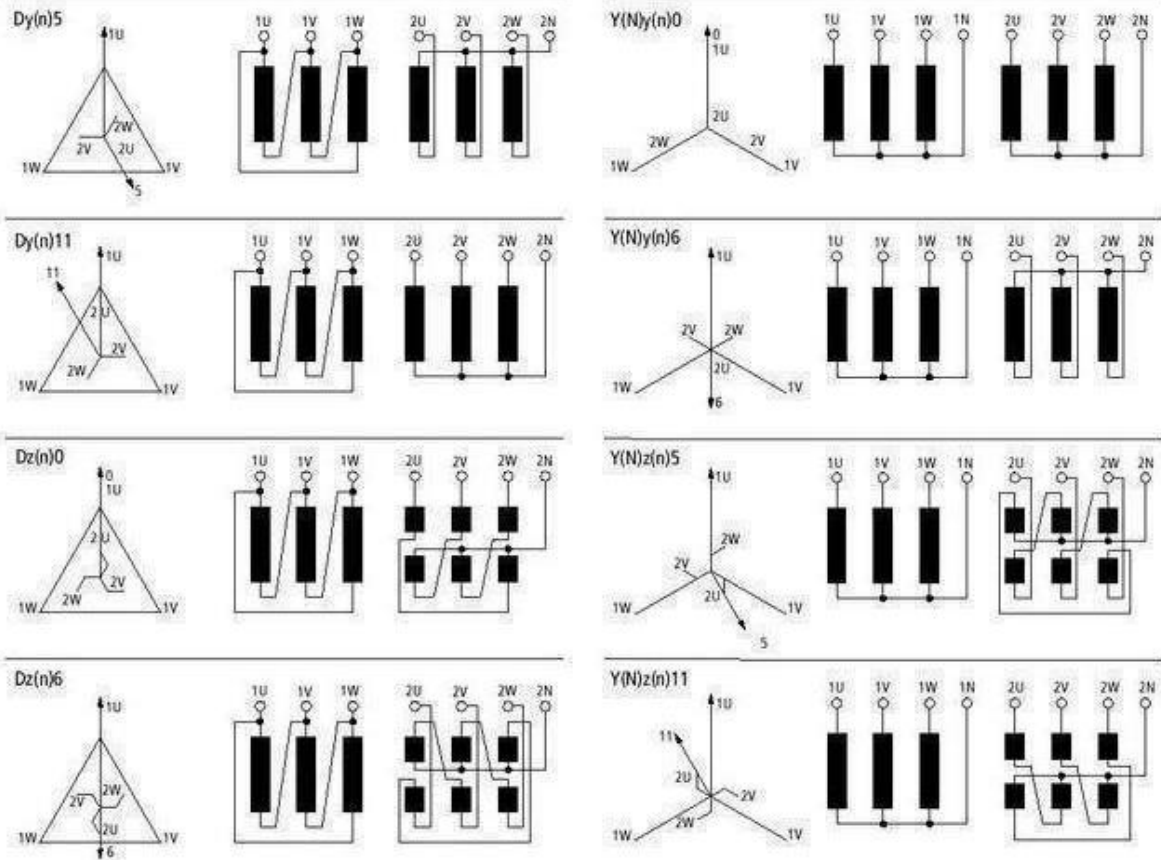
P KVA	Perdidas en vacio W	Perdidas debidas a la carga W	Tensión de corto- circuito %	Potencia reactiva a compensar	
				Vacio Kvar	Plena carga Kvar
100	320	1750	4	2.98	7.30
160	460	2350	4	4.38	11.52
200	550	2850	4	5.24	14.21
250	650	3250	4	6.25	17.60
315	770	3900	4	7.50	21.98
400	930	4810	4	9.05	27.36
500	1100	5950	4	11.33	34.24
630	1300	6950	4	13.52	42.59
800	1560	12000	5,5	23.89	74.69
1000	1840	13900	6	28.68	98.71
1250	2160	15000	5,5	32.84	113.35
1600	2640	18100	6	38.20	151.33
2000	3900	22500	7	45.36	211.20
2500	4500	27500	7,5	53.76	276.00
3150	5400	35000	8	63.96	363.60

Anexo 6: Configuraciones estándar e índices horarios de transformadores trifásicos

Standard configurations for three-phase transformers

When ordering three phase type DTI and DTZ, it is necessary to specify the desired transformer winding configuration in the type number. Select the desired con below and insert the associated number into the type number as shown on pages 13/005 and 13/008.

For additional configurations, please contact Moeller Electric.



The external neutral is clearly indicated by the addition to the configuration of an n for the secondary (N for the primary).
Standard circuit is Yy0.

INSTRUMENTOS

Instrumento de evaluación N° 1.

Instrumentos de evaluación 1: Proceso de harina de plumas de aves JJK SAC					
Proceso:	Distribución de energía trifásica				
Empresa:	JKK SAC				
Responsable:	Farías Lachira, Juan – Marreros Huaman Luis				
Ítem	Variable: Factor de potencia, $\cos\phi$	UM -	Valor	Fecha	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
Parámetros estadísticos descriptivos					
Media aritmética					
Mediana					
Moda					
Rango					
Varianza					
Variación Pearson					
Desviación estándar					

Instrumento de evaluación N° 2. Empresa JJK SAC
HOJA DE ENCUESTA

Apellidos y nombres:Fecha:

1. Considera que la Planta industrial de JJK SAC hace buen uso de la energía eléctrica?
a) Sí b) No
Explicar la razón

2. Considera que al reducir el consumo de energía eléctrica contribuye a aumentar la seguridad operacional, ¿ser más amigable con el medio ambiente y a obtener beneficios económicos para JJK SAC?
a) Sí b) No
Explicar la razón

3. Considera que es importante implementar planes de gestión eléctrica en Planta JJK SAC?
a) Sí, b) No

4. Conoce áreas o equipos críticos en los cuales sea necesario mejorar el sistema eléctrico en JJK SAC?
Sí No

5. ¿Ha recibido capacitación en eficiencia energética, seguridad eléctrica en el último año?
Sí No

6. Considera que se hace un buen mantenimiento preventivo a los componentes del sistema eléctrico de JJK SAC?
Sí No

7. Considera que la iluminación eléctrica es la adecuada en Planta JJK SAC?
Sí No

8. ¿Ha participado en pruebas de equipos eléctricos, en vacío, o en corto circuito, como motores y transformadores?
Sí No

Instrumento de evaluación N° 3. Empresa JJK SAC

Instrumentos de evaluación 3 : Proceso de harina de plumas de aves JJK SAC

Proceso:	Distribución de energía trifásica				
Empresa:	JJK SAC				
Responsable:	Farías Lachira, Juan – Marreros Huaman Luis				
Ítem	Variable: Potencia Reactiva	UM kVAR	Valor	Fecha	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
Parámetros estadísticos descriptivos					
Media aritmética					
Mediana					
Moda					
Rango					
Varianza					
Variación Pearson					
Desviación estándar					

VALIDACION DE INSTRUMENTOS

Validacion de Instrumento N° 1

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO Instrumento de Evaluación N°1

ITEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Si	No	Si	No	Si	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4	X		X		X		
5	X		X		X		
6	X		X		X		
7	X		X		X		
8	X		X		X		
9	X		X		X		
10	X		X		X		
11	X		X		X		
12	X		X		X		
13	X		X		X		
14	X		X		X		
15	X		X		X		
16	X		X		X		
17	X		X		X		
18	X		X		X		
19	X		X		X		
20	X		X		X		
21	X		X		X		
22	X		X		X		
23	X		X		X		
24	X		X		X		
Aspectos Generales					Si	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y Nombres : Genderson Marcelino Marín Hernández

Profesión : Ingeniero Electricista

Especialidad : Operación y Mantenimiento de redes eléctricas y subestaciones.


GENDERSON MARCELINO MARÍN HERNÁNDEZ
INGENIERO ELECTRICISTA
 Firma del Experto del Colegio de Ingenieros N°82377

Validacion de Instrumento N° 2

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO
Instrumento de Evaluación N°2

ITEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Si	No	Si	No	Si	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4	X		X		X		
5	X		X		X		
6	X		X		X		
7	X		X		X		
8	X		X		X		
Aspectos Generales					Si	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y Nombres : Gil Augusto Grandez Alvarado

Profesión : Ingeniero Electricista

Especialidad : Proyectos y Obras Eléctricas


 Firma del Experto

Va

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO
Instrumento de Evaluación N°3

ITEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un item por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Si	No	Si	No	Si	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4	X		X		X		
5	X		X		X		
6	X		X		X		
7	X		X		X		
8	X		X		X		
9	X		X		X		
10	X		X		X		
11	X		X		X		
12	X		X		X		
13	X		X		X		
14	X		X		X		

Matriz de consistencia

Autores: FARIAS LACHIRA JUAN, MARREROS HUAMAN LUIS					
" PLAN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN TRIFÁSICO EN BASE A AUDITORÍA ELÉCTRICA PARA REDUCIR FACTURACIÓN ELÉCTRICA EN PLANTA INDUSTRIAL JJK SAC TRUJILLO"					
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología	
¿En qué medida el diseño y la aplicación de un plan de eficiencia energética en base a auditoría eléctrica al sistema de distribución permitirá reducir los costos de energía eléctrica en planta industrial JJK SAC de Trujillo?	Elaborar un Plan de eficiencia energética en base a auditoría eléctrica en sistema de distribución trifásico de Planta JJK Trujillo	El diseño y aplicación de un Plan de eficiencia energética basada en auditoría eléctrica en sistema de distribución trifásico permitirá reducir facturación eléctrica en Planta industrial JJK SAC de Trujillo	Variable Independiente	1. Tipo de Investigación: Aplicada, pues se busca resolver un problema industrial	
			Plan de eficiencia energética	2. Nivel de Investigación: descriptivo	
				3. Método: deductivo	
				4. Diseño de la Investigación: Flujograma de procedimientos para desarrollar los objetivos específicos y hallar solución al problema de investigación	
				5. Población: Subestaciones eléctricas de Plantas de harinas de plumas de aves del Departamento las Libertad	
				6. Muestra: Subestación eléctrica, 200 KVA, 10/0.22 Kv en Planta JJK SAC de Trujillo	
				7. Técnicas: observación de procesos, mediciones de parámetros	
	Objetivos Específicos		Variable Dependiente	8. Instrumentos: Entrevistas, encuestas, registros de datos	
	<ul style="list-style-type: none"> Realizar una auditoría, según normas al sistema eléctrico trifásico de planta JJK SAC Trujillo, en el sistema de transformación, distribución y uso de energía eléctrica; determinando capacidades, rendimientos y costos de energía activa y reactiva Preparar el diagrama de Sankey de distribución, transporte y uso de la energía eléctrica en Planta JJK SAC. Diseñar un Plan de eficiencia energética Realizar un análisis de costo beneficio. Realizar un análisis económico financiero. 		<ul style="list-style-type: none"> Aumento de rendimiento eléctrico Reducción de facturación eléctrica 		